# Станислас Деан

# Прямо сейчас ваш мозг совершает подвиг. Как человек научился читать и превращать слова на бумаге в миры и смыслы

## *Книги, которые сделают вас еще умнее –*



http://www.litres.ru/pages/biblio\_book/?art=67123248

«Прямо сейчас ваш мозг совершает подвиг. Как человек научился читать и превращать слова на бумаге в миры и смыслы»: Эксмо; Москва; 2022

ISBN 978‑5‑04‑164623‑3

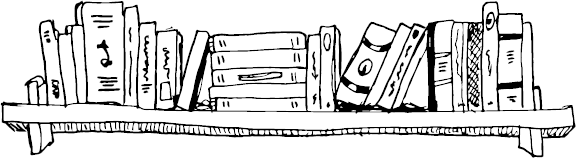
## Аннотация

За последнее десятилетие чтение стало неотъемлемой частью нашей жизни. Мы перестали замечать, как много читаем и пишем и едва ли когда‑нибудь задумываемся о том, как мы это делаем.

Станислас Деан – французский нейробиолог, ведущий когнитивный нейроученый в мире – задумался об этом всерьез и провел широкомасштабное исследование процессов формирования навыков чтения и письма. В этой книге Деан отвечает на вопросы, касающиеся дефицита чтения, методов обучения этому навыку, нарушений письма и чтения, особенностей восприятия различных систем письменности, а также других важных аспектов. В том числе нейробиолог дает рекомендации по обучению чтению детей.

Исследование Станисласа Деана – шаг к более осознанному чтению, пониманию того, как символы на бумаге трансформируются в нашем сознании в новые миры и смыслы. Прямо здесь и сейчас.

В формате PDF A4 сохранён издательский дизайн.



# Станислас Деан

# Прямо сейчас ваш мозг совершает подвиг. Как человек научился читать и превращать слова на бумаге в миры и смыслы

Для Гилен

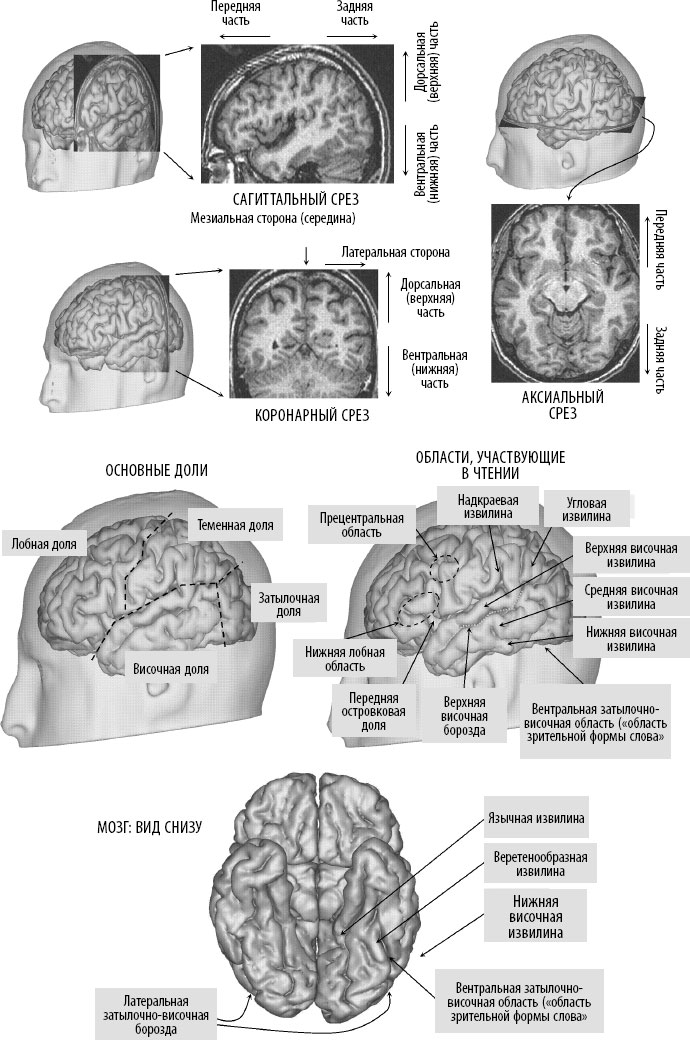
Stanislas Dehaene

READING IN THE BRAIN

Copyright © 2009 by Stanislas Dehaene. All rights reserved.

© Чечина А.А., перевод на русский язык, 2022

© ООО «Издательство «Эксмо», 2022



Как устроен мозг

## Введение

## Новая наука о чтении

Здесь у меня собранье небольшое Ученых книг, покой и тишина; Моим очам усопших речь внятна, Я с мертвыми беседую душою.

ФРАНСИСКО ДЕ КЕВЕДО[[1]](#footnote-1)

(ИСПАНСКИЙ ПОЭТ И ПРОЗАИК, 1580–1645)

Прямо сейчас ваш мозг совершает удивительный подвиг – он читает. Сканируя страницу, ваши глаза движутся скачкообразно. Четыре или пять раз в секунду ваш взгляд останавливается ровно настолько, чтобы вы успели распознать одно или два слова. Ничего этого вы, конечно, не замечаете. Сознательного разума достигают только звуки и значения слов. Но каким образом черным закорючкам на белой бумаге, попадающим на сетчатку глаза, удается вызывать в нашем воображении целую вселенную, как это делает Владимир Набоков в первых строках «Лолиты»?

Лолита, свет моей жизни, огонь моих чресел. Грех мой, душа моя. Ло‑ли‑та: кончик языка совершает путь в три шажка вниз по нёбу, чтобы на третьем толкнуться о зубы. Ло. Ли. Та.[[2]](#footnote-2)

Человеческий мозг содержит целый набор сложных механизмов, отлично приспособленных к чтению. На протяжении веков этот дар *Homo sapiens* оставался тайной. Сегодня черный ящик мозга открыт, и на смену догадкам пришла настоящая наука – наука о чтении. За последние 20 лет благодаря достижениям в области психологии и нейробиологии выявлены многие принципы, лежащие в основе процесса чтения. Современные методы нейровизуализации всего за несколько минут позволяют непосредственно увидеть участки мозга, задействованные в расшифровке письменной речи. Ученые могут проследить весь путь печатного слова от сетчатки глаза до соответствующих центров в коре. Обработка слов осуществляется в несколько последовательных этапов, на каждом из которых система пытается ответить на следующие элементарные вопросы: Это буквы? Как они выглядят? Они образуют слово? Как оно звучит? Как оно произносится? Что оно значит?

На такой эмпирической основе и строится теория чтения. Согласно современным представлениям, для распознавания печатных слов в мозг могут быть внедрены нейронные цепи, сформированные в ходе эволюции и унаследованные нами от приматов. С этой точки зрения подходящие сети фактически перепрофилируются и начинают выполнять новую задачу – читать. Четкое понимание того, как умение читать и писать трансформирует мозг, оказывает глубочайшее влияние на наш подход к образованию и нарушениям обучаемости. В настоящее время разрабатываются новые реабилитационные программы. Хочется верить, что со временем они позволят справиться даже с такой изнуряющей патологией, как дислексия (неспособность к чтению текста).

Основная задача, которую я ставил перед собой при работе над этой книгой, – поделиться новыми и малоизвестными открытиями науки о чтении. Как ни странно, **в XXI веке среднестатистический человек гораздо лучше разбирается в том, как работает автомобиль, нежели в том, как функционирует его собственный мозг**. Люди, принимающие ключевые решения в сфере образования, покорно следуют веяниям педагогической реформы, откровенно игнорируя то, как мозг учится читать на самом деле. Многие родители, педагоги и политики признают: между учебными программами и последними достижениями в области нейробиологии существует огромный разрыв. Однако их представления о том, как именно эта наука может способствовать прогрессу в образовании, зачастую основаны лишь на паре‑тройке цветных изображений работающего мозга. К сожалению, методы нейровизуализации, позволяющие нам увидеть мозг в действии, не так однозначны, как кажется, а потому могут ввести в заблуждение. Новая наука о чтении появилась совсем недавно и развивается так быстро, что за пределами научного сообщества о ней мало кто знает. Таким образом, моя главная цель состоит в том, чтобы, во‑первых, вкратце изложить основы этой захватывающей области знаний, а во‑вторых, подчеркнуть удивительные возможности нашего читающего мозга.

### От нейронов к обучению

Формирование навыка чтения – важный шаг в развитии ребенка. Многим детям чтение дается нелегко; как показывают опросы, примерно один взрослый из десяти не владеет даже зачатками понимания текста. Нужны годы усердной работы, прежде чем система, отвечающая за чтение, заработает как часы и мы забудем о ее существовании.

Почему же научиться читать так трудно? Какие глубинные изменения в мозге сопровождают процесс освоения этого навыка? Все ли стратегии обучения одинаково хороши или одни лучше адаптированы к особенностям детского мозга, чем другие? Почему фонетический метод – систематическое обучение звуко‑буквенным соответствиям – работает более эффективно, чем метод целых слов? Есть ли для этого конкретные научные основания; если да, то какие? Хотя многое еще неизвестно, новая наука о чтении дает более или менее точные ответы на все эти вопросы. В частности, она объясняет, почему результаты первых экспериментов свидетельствовали в пользу эффективности метода целых слов, в то время как новейшие исследования нейронных механизмов чтения доказывают, что это не так.

Зная, что именно представляет собой процесс чтения, мы можем лучше понять и его нарушения. Исследуя сознание и мозг читателя, я познакомлю вас с жертвами инсульта, внезапно утратившими способность читать, а также проанализирую причины дислексии, о неврологических основах которой мы узнаем все больше и больше. На сегодняшний день совершенно ясно, что мозг дислексика слегка отличается от мозга обычного человека. Хотя выявлено несколько генов предрасположенности к дислексии, ни в коем случае не стоит впадать в уныние и опускать руки. В настоящее время специалисты занимаются разработкой новых методик вмешательства. Например, было установлено, что интенсивное переобучение нейронных сетей, отвечающих за речь и чтение, приводит к значительным улучшениям, которые можно легко отследить с помощью методов нейровизуализации.

### Нейрокультурный подход

Способность читать – еще одно доказательство исключительности человеческого мозга. Но почему *Homo sapiens* – единственный вид, способный активно самообучаться? Почему только ему присуща способность передавать свою сложную культуру потомкам? Как биологический мир синапсов и нейронов соотносится со вселенной культурных достижений? Чтение, а также письмо, математика, искусство, религия, сельское хозяйство и городская жизнь в разы расширили врожденные возможности нашего мозга. Только человек сумел выйти за рамки сугубо биологического существования; только человек создает искусственную культурную среду и обучает себя новым навыкам, таким как чтение. Эта уникальная человеческая способность, не свойственная ни одному другому виду, озадачивает и требует теоретического объяснения.

Один из базовых методов исследования в инструментарии нейробиолога заключается в изучении «культуры нейронов», то есть в выращивании их в чашке Петри. В этой книге я призываю к другой «культуре нейронов» – к новому взгляду на культурную деятельность человека, основанному на понимании ее связи с соответствующими нейронными сетями. Общепризнанная цель нейробиологии состоит в описании механизмов, с помощью которых элементарные компоненты нервной системы приводят к поведенческим закономерностям у детей и взрослых (включая продвинутые когнитивные навыки). Чтение – одна из наиболее многообещающих экспериментальных платформ для такого «нейрокультурного» подхода. На сегодняшний день мы имеем достаточно четкое представление о том, как самые разные системы письменности, включая иврит, китайский и английский языки, сохраняются в нейронных сетях человеческого мозга. В случае с чтением мы можем проследить прямую связь между нашей врожденной нейронной архитектурой и приобретенными культурными способностями. Есть надежда, что этот нейробиологический подход можно применить и к другим ключевым областям культурного самовыражения человека.

### Загадка читающей обезьяны

Чтобы пересмотреть связь между мозгом и культурой, мы должны разгадать загадку, которую я называю *парадоксом чтения*: почему наш мозг, который мало чем отличается от мозга других приматов, способен читать? Чем объясняется его склонность к чтению, учитывая, что эта культурная деятельность была изобретена всего несколько тысяч лет назад?

Существуют веские причины, по которым этот обманчиво простой вопрос заслуживает статуса парадокса. Мы обнаружили, что кора грамотного мозга содержит особые механизмы, тонко настроенные на распознавание письменных слов. Что еще удивительнее, у всех людей эти механизмы локализованы в одних и тех же областях. Можно подумать, в нашем мозге имеется специальный орган для чтения!

Но письменность зародилась всего 5400 лет назад в Плодородном полумесяце[[3]](#footnote-3), а самому алфавиту не больше 3800 лет. Эти временные промежутки – сущий пустяк по меркам биологической эволюции. Поэтому у эволюции просто не было времени наделить *Homo sapiens* нейронными сетями, специально предназначенными для чтения. Мозг современного человека построен на генетическом коде, который позволял выживать нашим предкам – охотникам‑собирателям. Хотя мы с удовольствием читаем Набокова и Шекспира, изначально наш мозг был рассчитан на жизнь в африканской саванне. Ничто в человеческой эволюции не могло подготовить нас к восприятию речи через зрение. Однако нейровизуализационные исследования показывают, что **мозг взрослого человека содержит фиксированные цепи нейронов, идеально приспособленные к чтению**.

Парадокс чтения чем‑то напоминает рассуждения Уильяма Пейли[[4]](#footnote-4), которые он приводит в доказательство существования Бога. В своем труде «Естественная теология» (1802) он задается следующим вопросом: если в пустыне некто найдет на земле часы с замысловатым внутренним механизмом, явно предназначенным для измерения времени, разве не будет это служить неопровержимым доказательством того, что где‑то существует умный часовщик, который создал этот прибор намеренно? Аналогичным образом, утверждал Пейли, сложные устройства, которые мы наблюдаем в живых организмах – например, механизмы глаза, – это подтверждение того, что природа есть не что иное, как творение божественного часовщика.

Чарлз Дарвин опроверг теорию Пейли, продемонстрировав, что слепой естественный отбор тоже может порождать высокоорганизованные структуры. Даже если биологические организмы на первый взгляд кажутся созданными для определенной цели, более тщательный анализ показывает, что их организация далека от совершенства, которого можно ожидать от всемогущего архитектора. Самые разные недостатки свидетельствуют о том, что эволюция не подчинена замыслу некоего разумного творца; в борьбе за выживание она выбирает случайные пути. В сетчатке глаза, например, кровеносные сосуды и нервные волокна расположены *перед* фоторецепторами, тем самым частично блокируя поступающий свет и создавая слепое пятно. Не очень удачная конструкция, верно?

Следуя по стопам Дарвина, Стивен Джей Гулд[[5]](#footnote-5) привел множество примеров неидеальных творений естественного отбора, включая большой палец у панды[[6]](#footnote-6). Британский эволюционист Ричард Докинз также показал, что сложные механизмы работы глаза или крыла могли возникнуть только в результате естественного отбора – иначе говоря, их создал «слепой часовщик»[[7]](#footnote-7). Итак, эволюционизм Дарвина, по всей вероятности, является единственным источником видимого «замысла» в природе.

Однако когда речь идет о чтении, то аллегория Пейли представляется сомнительной в несколько ином плане. Механизмы мозга, поддерживающие чтение, безусловно, сравнимы по сложности и конструкции с часами, найденными в пустыне. Вся их организация подчинена единственной очевидной цели – как можно быстрее и точнее расшифровывать написанные слова. И все же ни гипотеза о разумном творце, ни теория о медленном формировании в ходе естественного отбора не дают убедительного объяснения того, как именно возникло чтение. За столь короткое время эволюция не успела бы создать соответствующую нейронную сеть. Как же тогда человеческий мозг научился читать? Наша кора является результатом миллионов лет эволюции в мире без письменности. Каким же образом ей удается адаптироваться к специфическим задачам, связанным с распознаванием письменных слов?

### Биологическое единство и культурное многообразие

В социальных науках приобретение культурных навыков, таких как чтение, математика или изобразительное искусство, редко объясняется сквозь призму биологии. До недавнего времени лишь немногие социологи признавали, что биология мозга и эволюционная теория имеют отношение к наукам об обществе. Даже сегодня большинство слепо согласится с наивной моделью мозга как бесконечно пластичного органа, чья способность к научению столь велика, что не накладывает никаких ограничений на пределы человеческой деятельности. Эта идея не нова. Она восходит к теориям британских эмпириков Джона Локка, Дэвида Юма и Джорджа Беркли. Человеческий мозг, утверждали они, подобен чистому листу, который постепенно впитывает отпечаток естественной и культурной сред посредством пяти органов чувств.

Подобный взгляд, отрицающий само существование человеческой природы, принимался без сомнений. Он принадлежит к «стандартной социологической модели»[[8]](#footnote-8), которую отстаивают многие антропологи, социологи, некоторые психологи и даже несколько нейробиологов, рассматривающих поверхность коры как «преимущественно эквипотентную и лишенную предметно‑специфической структуры»[[9]](#footnote-9). Предполагается, что человеческая природа формируется посредством планомерного и гибкого процесса культурного насыщения. Проще говоря, этот подход подразумевает, что дети инуитов (амазонского племени охотников‑собирателей) и дети, родившиеся в Верхнем Ист‑Сайде[[10]](#footnote-10) в Нью‑Йорке, имеют мало общего. Даже восприятие цвета, понимание музыки или представления о правильном и неправильном должны варьироваться от одной культуры к другой – хотя бы потому, что человеческий мозг содержит не так много стабильных структур, помимо способности к обучению.

Кроме того, эмпирики убеждены, что человеческий мозг, не стесненный биологическими ограничениями и не похожий на мозг других видов, может впитать любую форму культуры. С этой точки зрения рассуждать о фундаментальных основах культурных изобретений, таких как чтение, все равно что анализировать атомный состав пьесы Шекспира.

В этой книге я опровергаю подобный упрощенный взгляд на бесконечную приспособляемость мозга к культуре. Как показывают новейшие исследования нейронных сетей, отвечающих за чтение, гипотеза о невероятно гибком мозге неверна. Конечно, если бы мозг не мог учиться, он бы не смог адаптироваться к специфическим правилам правописания английского, японского или арабского. Однако это научение носит строго ограниченный характер. Все его механизмы заданы генами. Архитектура мозга схожа у всех представителей *Homo sapiens* и лишь незначительно отличается от других приматов. Во всем мире расшифровка письменного слова задействует одни и те же области коры. Овладение чтением – будь то на французском или китайском языке – осуществляется через генетически запрограммированную сеть нейронов.

На основании этих данных я предлагаю новую теорию нейрокультурных взаимодействий, противоположную культурному релятивизму[[11]](#footnote-11) и способную разрешить парадокс чтения. Я называю ее гипотезой «нейронного рециклинга». Согласно этому новому подходу, архитектура человеческого мозга подчинена жестким генетическим ограничениям, однако некоторые нейронные цепи допускают определенную вариативность. Часть нашей зрительной системы, например, не зафиксирована и восприимчива к изменениям в окружающей среде. Именно эта зрительная пластичность в хорошо структурированном мозге позволила древним писцам изобрести чтение.

В целом ряд нейронных сетей, заданных генами, снабжает мозг «предварительными репрезентациями»[[12]](#footnote-12) или гипотезами, которые он может принять относительно будущих изменений в окружающей среде. В процессе развития механизмы научения помогают определить, какие из них лучше всего отвечают текущим обстоятельствам. Овладение культурными достижениями происходит именно благодаря этой пластичности. Наш мозг отнюдь не чистый лист, который покорно впитывает все, что его окружает; он адаптируется к конкретной культуре, минимально корректируя свои функции с учетом новых требований. Иными словами, мозг – это не *tabula rasa*[[13]](#footnote-13), в рамках которой накапливаются культурные конструкции, а **тщательно структурированное устройство, способное переориентировать некоторые свои части на новые задачи**. Осваивая тот или иной навык, мы перепрофилируем определенные старые нейронные сети, доставшиеся нам от приматов – конечно, в той мере, в какой они допускают подобные трансформации.

### О содержании книги

На страницах этой книги я расскажу, как нейронный рециклинг[[14]](#footnote-14) может объяснить грамотность, ее механизмы и даже ее историю. Первые три главы посвящены анализу механизмов чтения у взрослых. В главе 1 мы посмотрим на чтение с психологической точки зрения: как быстро мы читаем и каковы основные детерминанты этого действия? В главе 2 описаны области мозга, активные во время чтения, а также современные методы их визуализации. Наконец, в главе 3 мы спустимся на уровень отдельных нейронов, которые распознают буквы и слова, и их организации в цепи.

Подходя к своему анализу с механистической точки зрения, я предлагаю обнажить шестерни читающего мозга подобно тому, как преподобный Пейли призывал разобрать часы, брошенные в пустыне. Впрочем, заглянув в мозг читателя, мы не увидим в нем никакого совершенного устройства, сотворенного божественным часовщиком. Нейронные сети, задействованные при чтении, имеют немало изъянов, выдающих компромисс между идеальным считывающим аппаратом и имеющимися биологическими механизмами. Почему чтение не работает так, как работает быстрый и эффективный сканер? Все дело в специфических особенностях зрительной системы приматов. По мере того как мы перемещаем взгляд по странице, слова попадают в центральную область сетчатки глаза, а затем распадаются на множество фрагментов, которые позже наш мозг вновь собирает воедино. Только потому, что за счет многолетней практики все эти процессы становятся автоматическими и бессознательными, мы пребываем в иллюзии, будто чтение – это просто и легко.

Бесспорно, наши гены эволюционировали не для того, чтобы однажды мы могли научиться читать. Как же тогда разрешить парадокс чтения? Моя логика проста. Если мозг не эволюционировал для чтения, значит, верно обратное: системы письменности развились с учетом ограничений нашего мозга. В главе 4 мы проанализируем историю письма с этой точки зрения, начиная с первых доисторических символов и заканчивая изобретением алфавита. На каждом из этапов были обнаружены свидетельства непрерывных культурных изменений. На протяжении тысячелетий писцы старались придумать слова, знаки и алфавиты, наилучшим образом отвечающие ограничениям нашего мозга. По сей день мировые системы письменности сохраняют ряд общих конструктивных особенностей, которые могут быть прослежены до ограничений, налагаемых на письмо устройством нашего мозга.

В продолжение мысли о том, что наш мозг не создан для чтения, но способен переориентировать некоторые из своих сетей на эту новую культурную деятельность, я рассматриваю то, как именно дети учатся читать. Психологические исследования показывают, что существует не так много способов превратить мозг примата в мозг опытного читателя. В главе 5 довольно подробно исследуется единственная траектория, по которой, по всей видимости, следует формирование этого навыка. Школы поступят благоразумно, если используют эти знания для оптимизации обучения чтению и смягчения пагубных последствий неграмотности и дислексии.

Я также покажу, как нейронаучный подход может пролить свет на более загадочные особенности овладения навыком чтения. Например, почему так много детей пишут свои первые слова справа налево? Вопреки общепринятому мнению, ошибки, связанные с зеркальной инверсией, не являются первыми признаками дислексии; скорее, это естественное следствие организации нашей зрительной системы. У большинства детей дислексия связана с другой, вполне отчетливой аномалией в обработке звуков речи. Описанию симптомов дислексии, их мозговых механизмов, а также самых последних открытий, касающихся генетических основ этой патологии, посвящена глава 6. В главе 7 мы узнаем, что зеркальные ошибки могут говорить о нормальном процессе зрительного распознавания.

Наконец, в главе 8 мы вновь вернемся к тому удивительному факту, что только наш вид способен на такие сложные культурные изобретения, как чтение. Чтение – уникальный подвиг, который не под силу ни одному другому примату. Согласно стандартной социологической модели, мозг – это чистый лист, на котором культура может писать все, что ей заблагорассудится. Это не так. В действительности **культура и организация мозга неразрывно связаны между собой, и чтение – убедительное тому доказательство**. За свою долгую культурную историю люди убедились, что зрительную систему можно использовать в качестве суррогатного речевого входа. Так возникло чтение и письмо. Аналогичный подход применим и к другим ключевым культурным изобретениям человека. Математика, искусство, музыка, религия – все это можно рассматривать как устройства, сформированные веками культурной эволюции и захватившие наш мозг примата.

Остается последняя загадка: если учиться могут все приматы, почему *Homo sapiens* – единственный вид с развитой культурой? Хотя этот термин иногда применяется в отношении шимпанзе, их «культура» едва ли выходит за рамки нескольких хитроумных способов колоть орехи. Да, они моют картофель и выуживают муравьев палкой, но это ничто по сравнению со свойственным человеку беспрерывным производством взаимосвязанных условностей и систем символов, включая языки, религии, искусство, спорт, математику и медицину. Другие животные могут постепенно научиться распознавать новые знаки, такие как буквы и цифры, но они не могут их *изобрести*. В заключении я высказываю некоторые предварительные размышления об исключительности человеческого мозга. Уникальность нашего вида может быть обусловлена сочетанием двух факторов: теории чужого сознания (способностью понимать мысли других людей) и глобального рабочего пространства (внутренним буфером, в котором происходит объединение множества идей). Оба механизма, заложенные в наших генах, делают нас единственным культурным видом на планете. Кажущееся бесконечным разнообразие человеческих культур – лишь иллюзия. Никому из нас не под силу вырваться из замкнутого когнитивного круга: как вообще можно вообразить формы, кроме тех, что способен представить наш мозг? Хотя чтение – относительно недавнее изобретение, оно тысячелетиями дремало в ореоле потенциальных способностей, заложенных в нашем мозге. В основе внешнего многообразия человеческих систем письменности лежит базовый набор универсальных нейронных механизмов, которые, подобно водяному знаку, обнаруживают ограничения человеческой природы.

## 1

## Как мы читаем

Существование текста – это безмолвное существование, безмолвное ровно до тех пор, пока его не прочтет читатель. Лишь после того, как знаков на табличке коснется опытный взгляд, текст пробуждается к активной жизни. Все написанное зависит исключительно от великодушия читателя.

АЛЬБЕРТО МАНГУЭЛЬ, «ИСТОРИЯ ЧТЕНИЯ»[[15]](#footnote-15)

Обработка письменной речи начинается с глаз. Только центр сетчатки – так называемая центральная ямка – имеет достаточно высокое разрешение, чтобы распознавать мелкий шрифт. Именно поэтому взгляд вынужден беспрерывно перемещаться по странице. Когда наши глаза останавливаются, мы можем различить не больше одного‑двух слов. Каждое из них дробится нейронами сетчатки на множество фрагментов, а затем собирается обратно. Наша зрительная система последовательно извлекает графемы, слоги, префиксы, суффиксы и корни слов. Обработка слова осуществляется по двум параллельным маршрутам: фонологическому, который преобразует буквы в звуки речи, и лексическому, который обеспечивает доступ к ментальному словарю значений.

На первый взгляд чтение кажется почти волшебством: глаза видят слово, и мозг без труда дает нам доступ к его значению и произношению. Но не все так просто. Попадая на сетчатку, слово дробится на множество фрагментов: каждую часть зрительного образа распознает отдельный фоторецептор. Задача в том, чтобы снова собрать эти кусочки воедино, расшифровать буквы, выяснить порядок, в котором они расположены, и, наконец, идентифицировать слово.

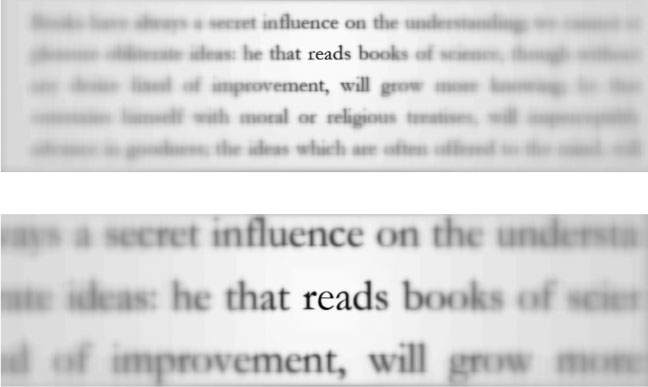
Вот уже 30 лет специалисты по когнитивной психологии активно изучают механику чтения. Их главная цель – взломать «алгоритм» зрительного распознавания слов и выявить последовательность основных этапов его обработки. Психологи рассматривают чтение как задачу автоматизированного анализа данных. По большому счету любой читающий человек напоминает робота с двумя камерами – глазами и сетчаткой. Сначала все слова представляются в виде пятен света и тени и не могут быть интерпретированы как лингвистические знаки. Чтобы мы могли получить доступ к соответствующим звукам, словам и значениям, зрительную информацию необходимо перекодировать в другой формат. Следовательно, наш алгоритм расшифровки должен быть в чем‑то похож на программу автоматического распознавания символов, которая на входе получает пиксели, а на выходе предлагает слова. Хотя мы этого не осознаем, наш мозг поступает именно таким образом: чтобы распознать слово, он производит целый ряд сложных операций по декодированию, принципы которых ученые только начинают понимать.

### Глаз – плохой сканер

Чтение начинается в тот момент, когда фотоны[[16]](#footnote-16), отраженные от страницы, попадают на сетчатку глаза. Но сетчатка не является однородным сенсором. Лишь центральная ямка (фовеа) содержит большое количество клеток с высокой разрешающей способностью и чувствительностью к свету. Для остальной сетчатки характерно более низкое разрешение. Центральная ямка занимает около 15 градусов зрительного поля и является единственным участком сетчатки, который «способен» читать. Когда фовеальная информация отсутствует, например, из‑за повреждения сетчатки, инсульта, разрушившего центральную часть зрительной коры, или хитроумного эксперимента, который избирательно блокирует зрительные сигналы, поступающие в центральную ямку, чтение становится невозможным[[17]](#footnote-17).

Итак, мы можем читать только те слова, которые попадают в область центральной ямки. Вот почему во время чтения наши глаза находятся в постоянном движении. Мы «сканируем» текст наиболее чувствительной частью сетчатки. Только она имеет достаточно высокое разрешение, необходимое для распознавания букв. Тем не менее наши глаза не перемещаются по странице безостановочно[[18]](#footnote-18). Скорее наоборот: они движутся небольшими скачками. Эти быстрые, согласованные движения глаз называются саккадами. В этот самый момент вы совершаете четыре или пять таких резких движений в секунду. Благодаря им в вашу область фовеа поступает новая информация.

Однако даже в центральной ямке визуальная информация представлена с разной степенью четкости. В сетчатке, как и в зрительных ретрансляторах таламуса и коры, количество клеток, «закрепленных» за одним фрагментом изображения, уменьшается прямо пропорционально расстоянию от центра зрительного поля. Это приводит к постепенному снижению четкости. Острота зрения оптимальна в центре и плавно снижается к периферии. Посмотрите прямо перед собой. Вам кажется, что все видно с одинаковой четкостью, как если бы вы снимали на цифровую камеру с однородным набором пикселей? Это иллюзия. В отличие от камеры, наш глазной сенсор точно воспринимает лишь ту точку, на которую падает взгляд. Все остальное остается нечетким и расплывчатым (рис. 1.1)[[19]](#footnote-19).



**Рис. 1.1.** Сетчатка глаза строго фильтрует все, что мы читаем. Эта страница из журнала Сэмюэла Джонсона[[20]](#footnote-20) *The Adventurer* (1754) была обработана с помощью специального алгоритма, имитирующего снижение остроты зрения от центра сетчатки к периферии. Независимо от размера, мы можем идентифицировать только те буквы, которые оказались близко к точке фиксации взгляда. Вот почему во время чтения наши глаза постоянно «прыгают» по странице, совершая быстрые, скачкообразные движения. Когда наш взгляд останавливается, мы можем различить всего одно или два слова.

Можно подумать, что в таких обстоятельствах легкость, с которой мы читаем, зависит от абсолютного размера печатных знаков: маленькие буквы сложнее читать, чем большие. Как ни странно, это не так. Причина в том, что чем крупнее знаки, тем больше места они занимают на сетчатке. Слово, напечатанное большими буквами, смещается на периферию, где клетки с трудом различают даже крупные буквы. Поскольку эти два фактора компенсируют друг друга, точность отображения на сетчатке ОГРОМНОГО и крошечного слова фактически одинакова. Конечно, это верно только при условии, что размер символов больше абсолютного минимума, соответствующего максимальной четкости в середине центральной ямки. Людям со сниженной остротой зрения, например пожилым пациентам, логично рекомендовать книги, напечатанные крупным шрифтом.

Поскольку глаз человека устроен именно таким образом, наше восприятие зависит от количества букв в словах, а не от места, которое эти слова занимают на сетчатке[[21]](#footnote-21). Действительно, саккады, которые совершают наши глаза при чтении, различаются по абсолютному размеру, но всегда одинаковы, если измерять их по количеству букв. Секрет в том, что при вычислении расстояния, на которое необходимо переместить взгляд, мозг учитывает размер символов. В результате наши глаза всегда сдвигаются на семь‑девять букв вперед, вне зависимости от того, большие они или маленькие. Приблизительно столько информации мы можем обработать за одну зрительную фиксацию. За одну зрительную фиксацию мы можем обработать семь‑девять букв.

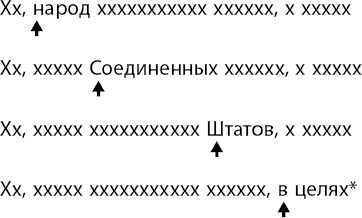
Как же доказать, что в любой заданный момент времени мы видим лишь малую часть страницы? Джордж У. Макконки и Кит Рейнер разработали экспериментальный метод, который мне нравится называть картезианским дьяволом. В своих «Метафизических размышлениях» Рене Декарт пишет о воображаемом злом гении, который играет нашими чувствами:

Итак, я сделаю допущение, что не всеблагой Бог, источник истины, но какой‑то злокозненный гений, очень могущественный и склонный к обману, приложил всю свою изобретательность к тому, чтобы ввести меня в заблуждение: я буду мнить небо, воздух, землю, цвета, очертания, звуки и все вообще внешние вещи всего лишь пригрезившимися мне ловушками, расставленными моей доверчивости усилиями этого гения; я буду рассматривать себя как существо, лишенное рук, глаз, плоти и крови, каких‑либо чувств: обладание всем этим, стану я полагать, было лишь моим ложным мнением…[[22]](#footnote-22)

Подобно суперкомпьютеру в фильме «Матрица», злой гений Декарта бомбардирует наши органы чувств искусными сигналами, создающими псевдореальность, виртуальное действо, истинная сторона которого всегда остается скрытой. Макконки и Рейнер оказались более скромными и придумали только лишь «движущееся окно», которое создает иллюзию текста на экране компьютера[[23]](#footnote-23). Специальное устройство отслеживает движения глаз испытуемого и может менять визуальный вывод в режиме реального времени. Например, его можно запрограммировать так, чтобы на экране отображались только несколько символов слева и справа от центра взгляда, а все остальные буквы на странице заменялись на *х*:



Как только глаза начинают двигаться, компьютер незаметно обновляет изображение. Его задача – показывать соответствующие буквы только в том месте, куда смотрит человек, а все остальные менять на *x*:



\* Слова из преамбулы к Конституции США, которая содержит одно предложение:

«Мы, народ Соединенных Штатов, в целях образования более совершенного Союза, утверждения правосудия, обеспечения внутреннего спокойствия, организации совместной обороны, содействия общему благосостоянию и обеспечения нам и нашему потомству благ свободы, учреждаем и принимаем эту Конституцию для Соединенных Штатов Америки». (Прим. перев.)

Используя это устройство, Макконки и Рейнер сделали любопытное и вместе с тем парадоксальное открытие. Они обнаружили, что испытуемые не замечали никаких манипуляций со словами. До тех пор пока слева и справа от точки фиксации представлено достаточное количество букв, читатель не видит подвоха и считает, что смотрит на совершенно нормальный текст.

Причина этой удивительной «слепоты» проста: в точке, где одна буква сменяется другой, глаз развивает максимальную скорость. В результате обнаружить изменение букв практически невозможно: в этот самый момент все изображение на сетчатке расплывается из‑за движения. Как только взгляд останавливается, текст выглядит нормально: в центральной ямке все буквы на месте. Что же касается букв на периферии зрительного поля, то они все равно не могут быть распознаны. Таким образом, эксперимент МакКонки и Рейнера убедительно доказывает, что сознательно мы обрабатываем лишь очень малое подмножество зрительных сигналов. Если компьютер оставит четыре буквы слева от точки фиксации и 15 букв справа, скорость чтения останется нормальной[[24]](#footnote-24). Другими словами, в любой заданный момент времени мы извлекаем очень мало информации из страницы текста. Попади это оборудование в руки злокозненному гению Декарта, ему хватило бы 20 букв в каждой фиксации, чтобы заставить нас поверить, будто мы читаем Библию или Конституцию США!

На самом деле 20 букв – это преувеличение. Мы идентифицируем только 10 или 12 букв за саккаду: три‑четыре слева от точки фиксации и семь‑восемь справа. К остальным буквам мы практически нечувствительны и просто кодируем пробелы между словами. Эти промежутки позволяют приблизительно оценить длину слов и спланировать движения глаз таким образом, чтобы взгляд оказался как можно ближе к середине следующего слова. Специалисты продолжают спорить о том, в каком объеме мы извлекаем информацию из последующего слова – вероятно, мы распознаем только первые несколько букв. Тем не менее все согласятся с тем, что направление чтения влечет за собой асимметрию зрительного поля. Зрительное поле западного человека смещено вправо, а у носителей арабского языка или иврита, которые сканируют страницу справа налево, – влево[[25]](#footnote-25). В других системах письма, например китайской, где плотность символов больше, саккады короче, и зрительный диапазон, соответственно, меньше. Отсюда следует, что каждый человек корректирует стратегию визуального исследования с учетом конкретного языка и письменности.

С помощью этого же метода можно установить, сколько времени требуется для кодирования внешнего облика слов. Компьютер можно запрограммировать так, чтобы спустя определенное время он менял на *х* все буквы, включая те, что попадают в область центральной ямки. Эксперименты показывают: для обеспечения практически нормальной скорости чтения достаточно показывать слово в течение 50 миллисекунд. Разумеется, это не означает, что все операции, связанные с чтением, осуществляются за одну двадцатую долю секунды. Как мы увидим далее, мыслительные процессы продолжаются еще как минимум 500 миллисекунд после прочтения слова. Тем не менее первоначальный сбор зрительной информации может происходить очень быстро.

Вкратце, **человеческий глаз накладывает множество ограничений на процесс чтения**. Структура наших зрительных сенсоров заставляет нас сканировать страницу, совершая скачкообразные движения глазами каждые две‑три десятых доли секунды. Чтение есть не что иное, как пословное мысленное восстановление текста с помощью серии моментальных «снимков». Хотя некоторые короткие служебные слова иногда можно пропустить, почти все значимые слова, такие как существительные и глаголы, должны быть зафиксированы хотя бы один раз.

Эти ограничения являются неотъемлемой частью нашего зрительного аппарата и не могут быть устранены посредством тренировки. Конечно, можно научить людей оптимизировать движение глаз, однако те, кто читает от 400 до 500 слов в минуту, и без того близки к максимуму. Учитывая имеющийся в нашем распоряжении ретинальный сенсор (сетчатку), едва ли стоит рассчитывать на что‑то большее. Доказать, что скорость чтения ограничивается именно движениями глаз, позволяет простой эксперимент[[26]](#footnote-26). При предъявлении целого предложения, которое будет возникать слово за словом в той самой точке, где сфокусирован взгляд, необходимость двигать глазами отпадает. В таких условиях опытный читатель может читать с ошеломляющей скоростью – от 1100 до 1600 слов в минуту, то есть примерно одно слово в 40 миллисекунд, что в три‑четыре раза быстрее обычного! При использовании этого способа – так называемого быстрого последовательного визуального предъявления – идентификация и понимание остаются удовлетворительными, а, значит, продолжительность показа центральных элементов не накладывает серьезных ограничений на нормальное чтение. Возможно, этот компьютеризированный режим предъявления – будущее чтения в мире, где мониторы стремительно вытесняют бумагу.

В любом случае движения глаз будут неизбежно замедлять чтение до тех пор, пока текст представлен в виде страниц и строк. По этой причине ко всем методам скорочтения, которые обещают увеличить скорость до 1000 слов в минуту и больше, следует относиться скептически[[27]](#footnote-27). Несомненно, мы можем немного расширить наш зрительный диапазон, чтобы уменьшить количество саккад в строке, и даже научиться избегать регрессии, когда взгляд возвращается к только что прочитанным словам. Тем не менее физиологические ограничения, свойственные нашим глазам от природы, нельзя преодолеть, если только человек не готов пропускать слова. Правда, в этом случае он рискует понять текст неправильно или не понять его вообще. Эту ситуацию прекрасно описал Вуди Аллен: «Я записался на курс скорочтения и смог прочитать «Войну и мир» за 20 минут. Там что‑то про Россию».

### Поиск инвариантов

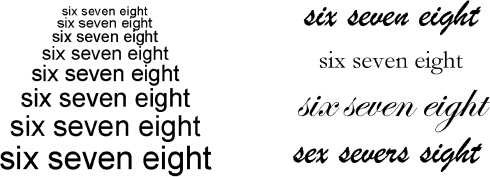
КЛИТАНДР. Так ты умеешь читать?

ЛЮБЕН. Да, по печатному, а вот по писаному никак не могу научиться.

*Жан‑Батист Мольер, «Жорж Данден»*[[28]](#footnote-28)

Чтение ставит перед нами сложную перцептивную[[29]](#footnote-29) задачу. Мы должны идентифицировать слова независимо от их длины и того, какими буквами они написаны – печатными или рукописными, строчными или заглавными. Психологи называют это *проблемой инвариантности*: прежде всего нам необходимо распознать, какой аспект слова не меняется (то есть саму последовательность букв) несмотря на множество возможных форм, которые могут принимать фактические символы.

Если перцептивная инвариантность представляет собой проблему, то это потому, что слова не всегда располагаются в одном и том же месте и не всегда напечатаны одним и тем же шрифтом одинакового размера. Будь оно так, для декодирования было бы достаточно лишь перечислить активные и неактивные клетки на сетчатке. Именно так поступает компьютер: любое черно‑белое изображение определяется списком составляющих его пикселей. Однако в реальности одному и тому же слову могут соответствовать сотни различных изображений на сетчатке. Все зависит от того, как именно оно написано (рис. 1.2). Следовательно, одна из первоочередных задач при чтении – компенсировать огромное разнообразие этих поверхностных форм.



**Рис 1.2.** Зрительная инвариантность – одно из важнейших свойств человеческой системы чтения. Наше устройство распознавания слов удовлетворяет двум, казалось бы, противоречивым требованиям: оно пренебрегает несущественными вариациями в форме знаков, даже если они огромные, но усиливает релевантные различия, даже если они совсем крошечные. Без нашего ведома зрительная система автоматически компенсирует бесчисленные вариации в размере и шрифте. Вместе с тем она замечает малейшие изменения формы. Превращая букву «s» в букву «е» и, следовательно, «*sight»* («зрение») в «*eight»* («восемь»), один знак переориентирует цепочку обработки на абсолютно разное произношение и значение.

Сразу несколько признаков указывают на то, что наш мозг эффективно решает проблему перцептивной инвариантности. Держа газету на некотором расстоянии от глаз, мы можем прочесть и заголовки, и рекламные объявления. Хотя одни слова могут быть меньше других в 50 раз, это не оказывает особого влияния на скорость чтения. Эта задача не сильно отличается от задачи распознавания лица или объекта с расстояния одного метра или 30 – наша зрительная система терпимо относится к изменениям масштаба.

Вторая форма инвариантности позволяет нам игнорировать расположение слов на странице. Когда наш взгляд сканирует текст, центр сетчатки приходится не на середину слова, а чуть левее. Разумеется, наша меткость далека от совершенства, а потому глаза периодически останавливаются на первой или последней букве. Как ни странно, это вовсе не мешает нам распознавать слова. Мы даже можем читать их на периферии зрительного поля при условии, что крупный размер букв компенсирует снижение разрешающей способности сетчатки. Таким образом, стабильность размеров идет рука об руку с нормализацией пространственного расположения.

Наконец, распознавание слов практически не зависит от формы знаков. Сегодня программные средства обработки текстов присутствуют везде. Технология, которой раньше пользовались только лучшие типографы, стала общедоступной. Всем известно, что существует множество наборов знаков, называемых шрифтами (этот термин остался с тех времен, когда каждый знак приходилось отливать в свинце на шрифтолитейном заводе). Каждый шрифт содержит два типа знаков, или «регистров»: верхний и нижний (первоначально свинцовые отливки, или литеры, хранили в специальных ящиках с множеством отсеков – так называемых наборных кассах; в верхних ящиках обычно лежали литеры заглавных букв, а в нижних – все остальные). Наконец, мы можем выбрать «вес», или насыщенность, шрифта (обычный или жирный), наклон (*курсив*, первоначально изобретенный в Италии), подчеркивание, а также **любую** *их комбинацию*. Впрочем, эти выверенные опции ничтожны по сравнению с неимоверным разнообразием рукописных стилей. Рукописное письмо явно выводит нас на новый уровень изменчивости и неоднозначности.

В свете всех этих вариаций остается загадкой, как именно наша зрительная система учится классифицировать формы букв. Частично проблему инвариантности можно решить относительно простыми способами. Возьмем, например, букву «о». Благодаря уникальной замкнутой форме эта гласная легко распознается независимо от размера, регистра или шрифта. Иначе говоря, создать зрительный детектор «o» не так уж и трудно. С другими буквами ситуация обстоит сложнее. Рассмотрим букву «б». Хотя нам кажется очевидным, что знаки б, Б, б и *б* обозначают одну и ту же букву, тщательный анализ показывает, что эта ассоциация совершенно произвольна. С равным успехом строчной версией буквы «Б» мог стать, скажем, знак e. В результате ребенок, который только учится читать, должен запомнить, что буквы не только передают определенные звуки, но и могут принимать самые разные формы. Как мы увидим далее, **умение читать, по всей вероятности, обусловлено существованием абстрактных буквенных детекторов – нейронов, способных распознавать букву в ее различных обличиях**. Согласно результатам экспериментов, чтобы с нормальной скоростью ДеКоДиРоВаТь ЦеЛыЕ пРеДлОжЕнИя, БуКвЫ кОтОрЫх НаПеЧаТаНы ПоПеРеМеНнО в ВеРхНеМ и НиЖнЕм РеГиСтРе, достаточно минимальной тренировки[[30]](#footnote-30). В «дьявольски гениальном» компьютере Макконки и Рейнера регистр может меняться перед каждой саккадой, но человек этого даже не заметит[[31]](#footnote-31)! Хотя в повседневной жизни мы практически никогда не видим слов, напечатанных с чередованием регистров, наши процессы нормализации настолько эффективны, что зрительная система с легкостью игнорирует подобные трансформации.

Экспериментальные исследования подтверждают: внешний облик слова не играет в процессе чтения никакой роли. Если мы можем мгновенно распознать, что «слово», «СЛОВО» и «СлОвО» означает одно и то же, то это потому, что наша зрительная система не обращает внимания ни на размер, ни на регистр, которым напечатаны слова. Ее интересуют только буквы, которые их составляют. Несомненно, наша способность определять слова не зависит от анализа их общей формы.

### Усиление различий

Хотя наша зрительная система успешно отфильтровывает визуальные различия, незначительные для чтения (например, между «Б» и «б»), не стоит думать, будто она всегда отбрасывает информацию и упрощает формы. Во многих случаях она, наоборот, сохраняет и даже усиливает (амплифицирует) мельчайшие детали, позволяющие отличить два очень похожих слова друг от друга. Рассмотрим слова «зрение» и «трение»[[32]](#footnote-32). Хотя разница составляет всего несколько пикселей, мы мгновенно получаем доступ к их соответствующим значениям и произношениям. Наша зрительная система чрезвычайно чувствительна к крошечным различиям между «зрением» и «трением». Усилив их, она посылает сигнал в разные семантические зоны мозга. В то же время она уделяет очень мало внимания другим, гораздо более выраженным различиям – например, между словами «зрение» и «ЗРЕНИЕ».

Как и в случае с регистром, способность обращать пристальное внимание на значимые детали является результатом многолетней тренировки. Читатель, который мгновенно замечает разницу между буквами «е» и «о» и ее отсутствие между «а» и «*а*», может не заметить, что еврейские буквы «» и «» кардинально отличаются друг от друга, хотя для любого еврея это очевидно.

### Каждое слово – это дерево

Наша зрительная система решает проблему инвариантного распознавания слов с помощью хорошо организованной схемы обработки сигналов. Как мы увидим в главе 2, поток нейронной активности, поступающий в зрительную кору, постепенно рассортировывается на значимые категории. Слова, кажущиеся похожими (например, «зрение» и «трение»), просеиваются через ряд мельчайших фильтров, которые отделяют их друг от друга и относят к разным статьям в ментальном лексиконе – нашем внутреннем словаре всех слов, с которыми мы сталкивались в жизни. И наоборот, такие слова, как «зрение» и «ЗРЕНИЕ», изначально кодируются разными нейронами в первичной зрительной области, но постепенно перекодируются, пока не становятся практически неразличимыми. Детекторы элементарных признаков распознают сходство букв «р» и «Р». Другие, более абстрактные, детекторы классифицируют «e» и «E» как две формы одной и той же буквы. Несмотря на первоначальные различия, зрительная система в конечном счете кодирует сам смысл буквенных цепочек «зрение» и «ЗРЕНИЕ» и приписывает им один и тот же ментальный адрес – абстрактный код, ориентирующий остальную часть мозга на соответствующее произношение и значение.

Как выглядит этот адрес? Согласно некоторым моделям, он представляет собой своего рода неструктурированный список, фиксирующий последовательность букв З‑Р‑Е‑Н‑И‑Е. Другие модели предполагают, что мозг опирается на абстрактный и условный код, похожий на случайный шифр: скажем, [1296] – это слово «зрение», а [3452] – это «трение». Однако современные исследования говорят в пользу другой гипотезы. **Каждое написанное слово, по всей вероятности, кодируется иерархическим деревом.** В нем буквы объединены в более крупные единицы, которые, в свою очередь, сгруппированы в слоги и слова. Точно так же человеческое тело можно представить в виде совокупности ног, рук, туловища и головы, состоящих из более простых частей. В мозге человека каждое написанное слово кодируется иерархическим деревом, в котором буквы объединены в более крупные единицы, а те, в свою очередь, сгруппированы в слоги и слова.

В качестве примера мысленного разложения слов на значимые единицы разберем английское слово «unbuttoning» («отстегивание», «расстегивание»). Сначала уберем приставку un‑ и характерный суффикс или грамматическое окончание – ing. Оба обрамляют центральный элемент – корень «button». Все три компонента называются морфемами – мельчайшими единицами, несущими некий смысл. На этом уровне каждое слово характеризуется особой комбинацией составляющих его морфем. Разбиение слова на морфемы позволяет нам понимать даже те слова, которые мы никогда раньше не видели, например «reunbutton» (буквально – «снова отстегивать»; приставка re‑ предполагает повтор действия) или «deglochization» (приставка de‑ обозначает отмену, прекращение чего‑либо; значит, «deglochization» – это аннулирование действия «gloching», в чем бы оно ни заключалось). В некоторых языках, таких как турецкий или финский, морфемы могут быть сгруппированы в очень длинные слова, которые передают столько же информации, сколько целое английское предложение. В этих языках, как и в английском, разложение слова на морфемы является важным шагом на пути от визуального восприятия к смыслу.

Экспериментальные данные показывают, что наша зрительная система очень быстро и абсолютно бессознательно отсекает морфемы слов. Например, если на мониторе компьютера на мгновение высветится слово «поезд», то позже, увидев слово «отъезд»[[33]](#footnote-33), вы произнесете его немного быстрее. Предъявление слова «поезд», по‑видимому, заранее активирует морфему – езд, тем самым облегчая к ней доступ в будущем. В таких ситуациях психологи говорят об эффекте прайминга (предшествования) – чтение одного слова стимулирует распознавание родственных ему слов. Примечательно, что эффект прайминга зависит не только от зрительного сходства: слова, которые выглядят совершенно по‑разному, но имеют общую морфему, например «мог» и «может», ускоряют распознавание друг друга, в то время как похожие, но не имеющие тесной морфологической связи, например «аспирант» и «аспирин»[[34]](#footnote-34), – нет. Кроме того, эффект прайминга не требует сходства на уровне смысла. Такие слова, как «речь» и «речка» или «нос» и «носить»[[35]](#footnote-35), могут стимулировать друг друга, даже если их значения по существу никак не связаны[[36]](#footnote-36). Переход к морфемному уровню, по‑видимому, имеет столь важное значение для нашей системы чтения, что она охотно строит догадки относительно морфемного состава слов. Наш считывающий аппарат разбивает слово «носить» на нос‑ + – ить[[37]](#footnote-37) в надежде, что это облегчит задачу операторам, вычисляющим его значение[[38]](#footnote-38). Неважно, что это работает не всегда. Например, «горец» не обязательно горюет, а «лукавый» не имеет никакого отношения к растениям[[39]](#footnote-39). Такие ошибки будут исправлены на последующих стадиях процесса анализа слова.

Продолжим разбирать английское слово «unbuttoning». Сама по себе морфема – button‑ тоже не является неделимым целым. Она состоит из двух слогов, – b‑ и – ton‑, каждый из которых может быть разбит на отдельные согласные и гласные: [b] [] [t] [o] [n]. Здесь кроется еще одна важная единица для нашей системы чтения: графема. Графема – это буква или ряд букв, которые соответствуют одной фонеме. Обратите внимание: в нашем примере две буквы «tt» соотносятся с одним звуком [t][[40]](#footnote-40). Очевидно, что процесс преобразования графем в фонемы не всегда носит прямой характер. Во многих языках графемы могут состоять из нескольких букв. Английский язык, например, может похвастаться особенно обширной коллекцией сложных графем, таких как «ough», «oi» и «au».

Наша зрительная система научилась воспринимать эти комбинации как *определенные* единицы, а потому почти не обращает внимания на их фактический буквенный состав. Чтобы в этом убедиться, проведем простой эксперимент. Изучите список ниже и отметьте слова, которые содержат букву «а»:

garage

metal

people

coat

please

meat

Вы заметили, что вам пришлось чуть‑чуть «сбросить скорость» на последних трех словах: «coat» [kut], «please» [pli: z] и «meat» [mi: t]? Все они содержат букву «а», но она встроена в сложную графему, которая не произносится как [a]. Полагайся мы исключительно на детекторы букв, разбиение слова на составляющие его графемы не имело бы значения. Однако фактические измерения скорости реакции ясно показывают, что наш мозг не останавливается на уровне одной буквы. Поскольку зрительная система автоматически перегруппирует буквы в графемы более высокого уровня, заметить, что такие сочетания букв, как «ea», на самом деле содержат букву «a», не так‑то просто[[41]](#footnote-41).

В свою очередь, графемы автоматически группируются в слоги. Проведем еще один эксперимент. Ниже вы увидите слова из пяти букв. Одни буквы напечатаны **жирным** шрифтом, другие – обычным. Сосредоточьтесь исключительно на средней букве и попытайтесь определить, каким шрифтом она напечатана[[42]](#footnote-42):

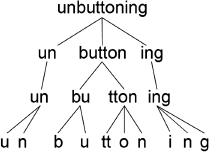
Список 1: ВО**ЙНА АКТ**ЕР **СК**АЛА ОТД**ЕЛ**

Список 2: **ВОД**КА МЕ**ТРО** ЛОД**КА СУ**ПЕР

Вам не показалось, что первый список немного сложнее, чем второй? В нем знаки, выделенные жирным шрифтом, не совпадают с делением на слоги – например, в слове «АКТЕР» буква «Т» напечатана жирным шрифтом, а остальная часть слога – обычным. Поскольку наш ум склонен автоматически группировать буквы в слоги, возникает конфликт, который приводит к существенному замедлению реакции[[43]](#footnote-43). Это свидетельствует о том, что наша зрительная система не может не разбивать слова на их элементарные составляющие, причем даже в тех случаях, когда лучше этого не делать.

Изучение природы этих составляющих – одно из важнейших направлений научных исследований. Казалось бы, множественные уровни анализа вполне могут сосуществовать друг с другом: сначала одна буква, затем пара букв (или биграмма, важная единица, к которой мы вернемся чуть позже), графема, слог, морфема и все слово целиком. На последней стадии зрительной обработки слово оказывается разбитым на иерархическую структуру, похожую на дерево. Это дерево состоит из постепенно утолщающихся ветвей с буквами вместо листьев.

Таким образом, лишенная всех своих несущественных свойств вроде шрифта, регистра и размера, буквенная цепочка разбивается на элементарные компоненты. Именно они будут использованы остальной частью мозга для вычисления звука и значения.



### Молчаливый голос

Письмо – искусство живописать слова и речь для глаз.

*Жорж де Бребеф (французский поэт, 1617–1661)*

Во время визита к святому Амвросию, бывшему тогда епископом Миланским, Августин заметил нечто столь странное, что счел необходимым упомянуть об этом в своих мемуарах:

Когда он [Амвросий] читал, глаза его бегали по страницам, сердце доискивалось до смысла, а голос и язык молчали. Часто, зайдя к нему (доступ был открыт всякому, и не было обычая докладывать о приходящем), я заставал его не иначе, как за этим тихим чтением[[44]](#footnote-44).

В середине VII века богослов Исидор Севильский тоже удивлялся тому, что «буквы суть указатели вещей, знаки слов, чья сила такова, что сказанное отсутствующими доносится до нас без звучания голоса»[[45]](#footnote-45). В то время по‑латыни обычно читали вслух, что было не только социальным обычаем, но и необходимостью. Во‑первых, слова писали без пробелов, а во‑вторых, безупречным знанием латинского языка обладали лишь единицы. В итоге большинство читателей были вынуждены проговаривать слоги, как маленькие дети. Вот почему молчаливое чтение Амвросия казалось столь удивительным, хотя для нас это дело привычное: мы можем читать, не произнося звуки вслух.

Вопрос о том, как именно происходит обработка письменной речи – от написанного слова напрямую к его значению, без доступа к произношению, или же посредством бессознательного преобразования букв в звуки, а звуков в смысл, – стал темой продолжительных дискуссий. Проблема организации ментальных путей, опосредующих чтение, расколола психологическое сообщество более чем на 30 лет. Одни полагали, что преобразование печатного знака в звук необходимо: письменная речь, утверждали они, есть лишь побочный продукт устной речи, а потому мы обязаны проговаривать слова вслух, используя *фонологический маршрут*. Только так у нас будет возможность восстановить их значение. Другие, напротив, видели в фонологическом перекодировании стадию, преимущественно характерную для начинающих. У более опытных читателей эффективность чтения обеспечивает прямой *лексический маршрут*, ведущий от буквенной цепочки прямо к ее значению.

В настоящее время специалисты пришли к следующему мнению: **у взрослых существуют оба маршрута**, и они активны одновременно. Все мы имеем прямой доступ к значению слов, что избавляет нас от необходимости произносить слова. Тем не менее даже опытные читатели продолжают использовать звуки, хотя и делают это неосознанно. Нет, нам вовсе не нужно шевелить губами. На более глубинном уровне информация о произношении слова извлекается автоматически. Лексический и фонологический пути работают параллельно, дополняя друг друга.

Существует множество доказательств, что во время чтения мы автоматически получаем доступ к звукам речи. Предположим, вам показывают цепочку букв и просят определить, настоящее это слово или нет. Готовы? Начали:

кролик

граниса

лошадть

деньги

карова

арбус

йожык[[46]](#footnote-46)

Скорее всего, вы сомневались, когда буквы складывались в настоящие слова – например, «корова», «арбуз» или «ежик». Чтобы оценить этот эффект интерференции (помехи), достаточно измерить скорость реакции. Это означает, что каждая буквенная цепочка автоматически преобразуется в последовательность звуков и анализируется как реальное слово, даже если этот процесс идет вразрез с поставленной задачей[[47]](#footnote-47).

Особенно важную роль преобразование букв в звуки играет при чтении незнакомых слов – скажем, буквенной цепочки «шаттл»[[48]](#footnote-48). Сначала мы не можем получить прямого доступа к его значению, поскольку никогда не видели, как это слово пишется. Все, что мы можем сделать, – преобразовать его в звук, убедиться, что такой звуковой паттерн существует, и таким обходным путем прийти к его значению. Зачастую проговаривание – единственный способ понять новое слово. Кроме того, оно необходимо при чтении слов, которые написаны неправильно. В качестве примера возьмем малоизвестный рассказ Эдгара Аллана По «Ангел Необъяснимого». По сюжету в квартиру рассказчика таинственным образом попадает странный персонаж – «некто, прямо сказать, невообразимый и неописуемый», с немецким акцентом, густым, как британский туман:

– Как я сюда попал, не тфоя забота, – отвечала фигура. – А что я гофорю, так я гофорю то, что надо. А кто я такой, так я затем и пришел сюда, чтобы ты это уфидел сфоими глазами… Фзгляни на меня! Смотри хорошенько! Я – Ангел Необъяснимого.

– Необъяснимо, – ответил я. – У меня всегда было такое впечатление, что у ангелов должны быть крылышки.

– Крылышки! – воскликнул он, сразу распалясь. – Фот еще! На что они мне? Майн готт! Разфе я цыпленок?[[49]](#footnote-49)

Читая этот отрывок, мы задействуем давно забытый путь, которым пользовались в детстве: фонологический маршрут, заключающийся в медленном преобразовании незнакомых буквенных цепочек в звуки, после чего они чудесным образом становятся понятны, словно кто‑то шепчет их нам на ухо.

Что же насчет обиходных слов, которые мы встречали уже тысячу раз? У нас не возникает ощущения, будто мы медленно расшифровываем их посредством проговаривания. Тем не менее психологические тесты показывают, что мы по‑прежнему обращаемся к их произношению, только на бессознательном уровне. Предположим, вас просят определить, какие из следующих слов обозначают части человеческого тела. Все они знакомы каждому, поэтому вы наверняка сможете сосредоточиться на их значении и не обращать внимания на произношение. Попробуйте:

колено

нога

стол

голова

самолет

ведро

род[[50]](#footnote-50)

Признайтесь, у вас был соблазн отнести к частям тела слово «род», которое звучит точь‑в‑точь как «рот»? Эксперименты показывают: когда исходные слова напоминают по звучанию слова из целевой категории, испытуемые замедляются и совершают ошибки[[51]](#footnote-51). Непонятно, как мы могли бы распознать омофонию, если бы предварительно не извлекали произношение слова. Только мысленное преобразование букв в звуки речи может объяснить ошибки такого типа. Наш мозг автоматически переводит буквы «р‑о‑д» во внутреннюю речь, а затем ассоциирует их со значением. Этот процесс может дать сбой в тех редких случаях, когда буквенная цепочка произносится как иное знакомое слово.

С другой стороны, несовершенство этой конструкции лежит в основе одного из величайших удовольствий нашей жизни: каламбуров, или «радостей текста», как однажды выразился юморист Ричард Ледерер. Лишенные дара преобразовывать буквы в звуки, мы не смогли бы насладиться ни сарказмом актрисы Мэй Уэст («*She’s the kind of girl who climbed the ladder of success wrong by wrong*»[[52]](#footnote-52)), ни остротами шурина Артура Конана Дойла («*There’s no police like Holmes*»[[53]](#footnote-53)). Без «молчаливого голоса» Августина мы бы не могли наслаждаться смелыми двусмысленными высказываниями[[54]](#footnote-54):

Один почитатель однажды сказал президенту Линкольну: «Позвольте представить мою семью. Моя жена, Сара Ист. Моя дочь, Мэри Ист. Мой сын, Анан Ист». «Вот это да!» – ответил президент[[55]](#footnote-55).

Другим доказательством того, что наш мозг автоматически получает доступ к звуковым паттернам слова, является эффект подсознательного прайминга. Допустим, я на несколько мгновений показываю вам слово «LATE» [let], за которым тут же следует слово «mate» [met], и прошу прочитать второе слово как можно быстрее. Слова напечатаны в разном регистре, чтобы исключить любое зрительное сходство на низком уровне. Однако скорость чтения заметно возрастает, если первое слово звучит и пишется как второе, и не меняется, если слова не связаны друг с другом (например «BOWL» и «mate»). Отчасти это обусловлено сходством на уровне правописания. Кратковременное предъявление слова «MATH» [mæθ] облегчает распознавание «mate» [met], хотя обе буквенные цепочки читаются по‑разному. Разумеется, особенно сильно эффект прайминга выражен, когда два слова произносятся одинаково («LATE» и «mate»), причем даже тогда, когда их написание не совпадает («EIGHT» [et] и «mate» [met]). Таким образом, произношение, судя по всему, извлекается автоматически. Но орфография и звук не кодируются одновременно. Нашему мозгу достаточно 20–30 миллисекунд, чтобы машинально активировать орфографию слова, но требуется еще 40 миллисекунд для преобразования букв в звуки, о чем свидетельствует эффект звукового прайминга[[56]](#footnote-56).

Итак, простые эксперименты позволяют нам очертить целый ряд последовательных стадий – от изображения на сетчатке глаза до их превращения в буквы и звуки. Любой опытный читатель быстро преобразует буквенные цепочки в речь, без усилий и участия сознания.

### Ограничения звука

Хотя преобразование букв в звуки осуществляется автоматически, эта стадия не всегда обязательна. Зачастую этот процесс происходит слишком медленно и неэффективно. Как следствие, мозг нередко пытается восстановить значение, используя более короткий путь, который ведет от буквенной цепочки прямо к соответствующей позиции в ментальном лексиконе.

Чтобы лучше понять, как работает прямой лексический маршрут, вообразим читателя, который способен проговаривать написанные слова только мысленно. Он не будет различать омофоны – например, «плод» и «плот», «луг» и «лук», «балл и «бал», «компания» и «кампания»[[57]](#footnote-57). Полагаясь исключительно на звук, он может подумать, будто сейф открывает кот, а грипп на самом деле растет в лесу[[58]](#footnote-58). Сам факт, что обычный человек с легкостью различает множественные значения таких омофонов, свидетельствует о том, что мы вовсе не обязаны их произносить: наш второй маршрут позволяет мозгу разрешать любые двусмысленности и извлекать значение напрямую.

Все сугубо звуковые теории чтения сталкиваются с одной и той же проблемой: путь от букв к звукам не является скоростным шоссе без единого препятствия. Вывести произношение слова из последовательности составляющих его букв зачастую просто невозможно – нужны дополнительные подсказки. Рассмотрим английское слово «blood» («кровь»). Очевидно, что оно должно произноситься как [bld] и рифмоваться с «bud» [bd] и «mud» [md]. Но откуда мы это знаем? Почему слово «blood» не рифмуется с «food» [fu: d] или, скажем, с «good» [gud]? А главное – почему оно не произносится как «bloom» [blu: m] или «bloomer» [blu: mə]? Даже один и тот же корень может произноситься по‑разному, как, например, в словах «sign» [san] и «signature» [sgn]. Некоторые слова пишутся так странно, что абсолютно непонятно, как звук соотносится с буквами («colonel» [k: nl], «yacht» [jt], «though» [ðu] и так далее). Произношение такого слова нельзя определить без предварительного знания этого самого слова.

Английская орфография изобилует подобными исключениями. Разрыв между письменной и устной речью имеет многовековую историю, на что указывал еще Уильям Шекспир в своей комедии «Бесплодные усилия любви». Педант Олоферн говорит:

Терпеть не могу таких фанатичных фантазеров, таких необщительных и натянутых собеседников, таких палачей правописания, которые вместо «кого» говорят «каво», вместо «конечно» произносят «канешна», а вместо «милость» мямлят «милась». Это мне так отовратительно (они‑то бы сказали «отвратительно»!), что доводит меня почти до умалишенности.[[59]](#footnote-59)

**Английский – вопиюще неправильный язык.** Джордж Бернард Шоу как‑то заметил, что слово «fish» («рыба») вполне могло бы писаться как «ghoti»: *gh* как в слове «enough» [nf], *o* как в слове «women» [wimin], а *ti* как в слове «lotion» [lun]! Шоу так раздражала английская орфография, что в своем завещании он выделил огромную сумму на создание нового и рационального алфавита под названием «Shavian». К сожалению, тот не имел большого успеха – вероятно, потому, что слишком сильно отличался от всех других существующих орфографических систем[[60]](#footnote-60).

Конечно, пример Шоу далек от реальной жизни. Никто не станет читать «ghoti» как «fish»: всем известно, что в начале слова буква «g» произносится как твердое [g] или [j], а не как [f]. Аналогичным образом, что бы ни говорил Шекспир, в современном английском языке буквы «alf» в конце слова всегда произносятся [af], как в «calf» и «half»[[61]](#footnote-61). Если буквы взяты в контексте, то можно выявить закономерности более высокого порядка, упрощающие преобразование букв в звуки. Но даже в этом случае есть множество исключений: «has» [hæz] и «was» [wz], «tough» [tf] и «dough» [du], «flour» [flau] и «tour» [tu], «header» [hed] и «reader» [ri: d], «choir» [kwa] и «chair» [], «friend» [frend] и «fiend» [fi: nd]. Читая такие слова, мы не восстанавливаем произношение, чтобы понять смысл. Скорее наоборот: только после того, как мы распознали слово «dough», мы можем восстановить его звуковую структуру.

### Скрытая логика английского правописания

Но почему английский язык придерживается столь сложной системы правописания? Итальянцы, например, не сталкиваются с такими трудностями. Их орфография прозрачна: каждая буква передает определенную фонему, практически без исключений. В результате на то, чтобы научиться читать, уходит всего несколько месяцев. Это дает огромное преимущество: что касается навыков чтения, итальянские дети опережают английских на несколько лет, при этом школьные учителя не тратят по несколько часов в неделю на диктанты и правописание. Кроме того, дислексия в Италии – не такая серьезная проблема, как в других странах. Возможно, англичанам стоит последовать примеру итальянцев, сжечь все словари и разработать новую систему праваписания, каторой лихко сможет авладеть даже трехлетний рибенок?

Безусловно, английскую орфографию можно упростить. Многие ее особенности объясняются исторической традицией, восходящей к битве при Гастингсе[[62]](#footnote-62). Современные школьники должны горько оплакивать поражение англичан: именно смесь французского и английского языков, которая возникла в итоге, является причиной орфографических мучений, выпадающих на долю любого носителя английского. Хороший пример – использование буквы «с» для звука [s], как в слове «cinder» («зола»). Столетия академического консерватизма, граничащего с педантизмом, буквально заморозили английский словарь. Ко всему прочему, академики эпохи Ренессанса, руководствуясь исключительно благими побуждениями, ввели в язык целый ряд орфографических нелепостей. Например, немая «s» в слове «island» («остров») – попытка восстановить этимологию латинского слова «*insula»*. Хуже всего, что, несмотря на естественную гибкость устной речи, английская орфография не развивалась. Введение иностранных слов и спонтанные сдвиги в артикуляции создали огромный разрыв между тем, как англичане пишут, и тем, как они говорят. Для детей это оборачивается годами ненужных мучений. Словом, здравый смысл призывает радикально упростить английскую орфографию.

Однако, прежде чем вносить какие‑либо изменения в правописание, необходимо понять скрытую логику уже существующей системы. Орфографические странности – это не только вопрос традиции. Они проистекают из самой структуры нашего языка и нашего мозга. Два механизма чтения – от букв к звуку и от букв к смыслу – накладывают сложные и зачастую непреодолимые ограничения на любую систему письменности. Лингвистические различия между английским, итальянским, французским и китайским языками таковы, что единого орфографического решения, которое бы подошло им всем, не существует. Таким образом, крайняя иррегулярность английской орфографии неизбежна. Хотя реформа правописания назревает давно, ей придется столкнуться с огромным количеством препятствий.

Прежде всего не совсем ясно, могла бы английская орфография, подобно итальянской, закрепить за каждым звуком одну букву, а за каждой буквой – фиксированный звук. Это не так‑то просто: английский язык содержит гораздо больше речевых звуков, чем итальянский. Количество английских фонем колеблется от 40 до 45, в зависимости от произношения и методов подсчета, в то время как в итальянском их всего 30. Особенно много в английском языке гласных и дифтонгов: есть шесть простых гласных (как в словах «bat», «bet», «bit», «but», «good» и «pot»), пять долгих гласных (как в словах «beef», «boot», «bird», «bard» и «boat») и по меньшей мере семь дифтонгов (как в словах «bay», «boy», «toe», «buy», «cow», «beer», «bear»). Если бы каждый из этих звуков получил свой собственный письменный символ, англичанам пришлось бы изобретать новые буквы, тем самым создав дополнительные сложности для детей. Конечно, есть другой выход: к уже существующим буквам можно добавить диакритические знаки, например ã, õ или ü. И все же универсальный алфавит, который мог бы транскрибировать все языки мира, – абсолютная утопия. Такая орфографическая система на самом деле уже существует: она имеет название «Международный фонетический алфавит» и играет важную роль в научных публикациях фонологов и лингвистов. Тем не менее эта система настолько сложна, что в повседневной жизни будет неэффективной. Международный фонетический алфавит состоит из 170 знаков, некоторые из которых выглядят особенно устрашающе (). Даже специалистам трудно читать на нем без помощи словаря.

Чтобы избежать заучивания чрезмерного числа символов, языки с большим количеством фонем, такие как английский и французский, прибегают к компромиссу. Они обозначают определенные гласные или согласные либо специальными знаками (например, «ü»), либо группой букв (например, «oo» или «oy»). Такие особенности, индивидуальные для каждого конкретного языка, появились не просто так: они имеют важное значение в «ментальной экономии» при чтении и должны найти свое место в любой орфографической реформе.

Хотя нам едва ли удастся закрепить по одной букве за каждым звуком речи, мы, вероятно, могли бы попробовать противоположный подход. Многих орфографических ошибок можно избежать, если систематически транскрибировать каждый звук фиксированной буквой. Например, если бы англичане перестали передавать звук [f] одновременно буквой «f» и диграфом «ph», жизнь стала бы намного проще. Несомненно, мы могли бы с легкостью избавиться и от других бесполезных излишеств, на усвоение которых уходят лучшие годы детства. На самом деле именно эту задачу ставила перед собой американская орфографическая реформа, когда упростила британское написание слов «behaviour» и «analyse», превратив их в «behavior» и «analyze». В этом же направлении можно предпринять и другие шаги. Опытные читатели перестают осознавать абсурдность английской орфографии. Например, буква «х» вообще не нужна: она передает две фонемы [ks], имеющие собственные обозначения. В Турции, например, люди ездят на «taksi», а не на «taxi». Эта страна, которая всего за один год (с 1928 по 1929) приняла латинский алфавит, кардинально упростила систему правописания и научила читать три миллиона человек. Это убедительный пример того, что орфографическая реформа осуществима.

Однако и здесь необходима осторожность. Я подозреваю, что любая радикальная реформа, предполагающая четкую, однозначную транскрипцию английской речи, заведомо обречена на провал. Дело в том, что роль орфографии заключается *не только* в точном транскрибировании. Вольтер ошибался, когда утверждал, будто «письмо – это портрет голоса: чем больше сходство, тем лучше». Письменный текст – это не качественная запись звука. Его цель состоит не в том, чтобы воспроизвести речь так, как мы ее произносим, а в том, чтобы закодировать ее на уровне достаточно абстрактном, чтобы читатель мог быстро восстановить смысл.

Теоретически мы можем представить, как выглядела бы фонетическая система письма, о которой мечтал Вольтер. В устной речи мы меняем произношение слов в зависимости от окружающих их звуков. Допустим, орфография отражает такие сложные языковые явления, как коартикуляция[[63]](#footnote-63), ассимиляция[[64]](#footnote-64) и ресиллабификация[[65]](#footnote-65), о которых большинство обычных людей даже не подозревают. В итоге одно и то же слово в разных контекстах писалось бы по‑разному. Нам пришлось бы использовать разные знаки для разных произношений множественного числа – например, вместо «cab driver» писать «cap driver», так как буква «b» в позиции перед звуком [d] обычно произносится как [р], – а также учитывать акцент говорящего («Майн готт! Разфе я цыпленок?»). Согласитесь, это был бы *apsurd* (да, англичане произносят это слово со звуком [p]). Главная задача письменного текста – передать смысл. Любая система, предполагающая рабское транскрибирование звуков речи, будет уводить от этой цели.

Английская орфография часто ставит прозрачность корней превыше буквенного выражения. Например, слова «insane» [n’sen] и «insanity» [n'sænt][[66]](#footnote-66) настолько тесно связаны по своему значению, что было бы глупо писать их по‑разному из‑за незначительных отличий в произношении. Или, допустим, логично сохранить немое «n» в конце слов «column», «autumn» или «condemn», учитывая, что от этих слов образованы «columnist», «autumnal» и «condemnation»[[67]](#footnote-67).

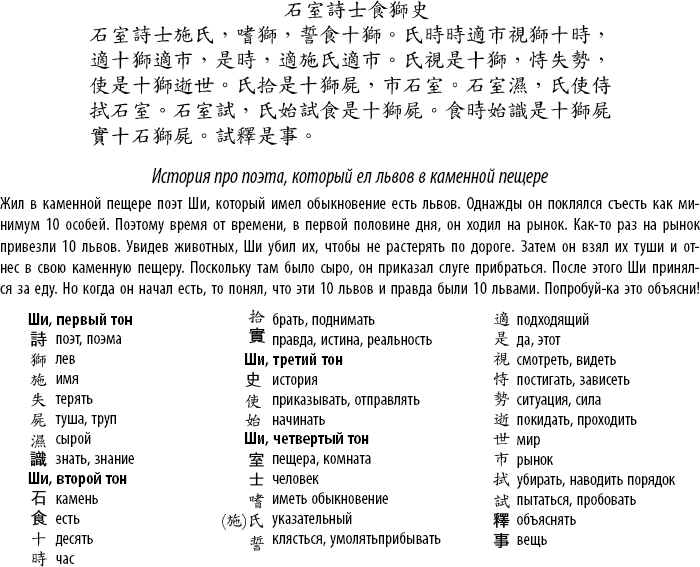
Кроме того, транскрипция значения объясняет (частично, по крайней мере), почему в английском языке одни и те же звуки пишутся по‑разному. Английские слова тяготеют к компактности и односложности, в результате чего омофония стала обычным явлением для этого языка. Примеров множество: «eye» («глаз) и «I» («я»), «you» («ты») и «ewe» («овца»). Если бы эти слова транскрибировались фонетически, отличить их друг от друга было бы невозможно. Разумеется, правила правописания развивались с учетом этого ограничения. Разное написание одних и тех же звуков усложняет письмо под диктовку, но упрощает задачу для читателя, который мгновенно улавливает смысл. Да, в английском языке существует бесчисленное множество способов передать звук [u] – «two», «too», «to», «stew», – но именно они помогают читать быстро. Без них любой письменный текст превратился бы в сложный ребус. Благодаря сложившимся традициям, письменный английский язык указывает непосредственно на смысл. В чем бы ни заключалась орфографическая реформа, она обязана сохранить это тонкое равновесие между звуком и значением, так как оно отражает гораздо более глубинный и менее гибкий феномен – два маршрута чтения, которыми пользуется наш мозг.

### Несбыточная мечта прозрачной орфографии

Соперничество между чтением ради звука и чтением ради смысла распространено повсеместно. Все системы письма решают эту проблему по‑своему. То, какой компромисс лучше, зависит от транскрибируемого языка. Конечно, жизнь была бы легче, если бы английскую орфографию можно было освоить так же легко, как итальянскую или немецкую. Оба этих языка обладают рядом особенностей, которые позволяют без труда переводить их в письменную форму. В итальянском языке, как и в немецком, большинство слов длинные, многосложные. Грамматическое согласование выражают звучные гласные, а омонимы встречаются редко. Таким образом, возможна простая и однозначная транскрипция звуков. Итальянский и немецкий могут позволить себе довольно прозрачную орфографическую систему, где почти каждая буква соответствует уникальному звуку.

На другом конце континуума находится севернокитайский язык (мандаринский китайский). Подавляющее большинство китайских слов состоит из одного или двух слогов, а поскольку всего их 1239 (410, если не считать тональные изменения), каждый из них может обозначать десятки различных понятий (рис. 1.3). Получается, что чисто фонетическая система письма в китайском языке была бы бесполезна, так как каждый из ребусов можно понять сотнями разных способов. Вот почему тысячи символов в мандаринском письме преимущественно транскрибируют слова, а точнее их морфемы – базовые элементы значения слова. Кроме того, китайская письменность включает несколько сотен фонетических маркеров. Они уточняют, как должен произноситься определенный корень, и помогают читателю понять, какое слово имеется в виду. Например, иероглиф 媽, который означает «мать» и произносится как [ма], состоит из морфемы 女 («женщина») и фонетического маркера 馬 = [mă]. Следовательно, вопреки распространенному мнению, даже китайскую письменность нельзя считать ни абсолютно идеографической (знаки которой представляют понятия), ни логографической (знаки которой обозначают отдельные слова). Это смешанная «морфосиллабическая» система, где одни символы передают морфемы слов, а другие – их произношение[[68]](#footnote-68).

Конечно, научиться читать по‑китайски гораздо труднее, чем по‑итальянски. Нужно выучить несколько тысяч знаков, а не несколько десятков. Таким образом, эти два языка находятся на двух противоположных концах шкалы орфографической прозрачности. Английский и французский языки занимают в этой системе промежуточное положение[[69]](#footnote-69). Слова в них преимущественно короткие, а потому омофоны встречаются относительно часто («right», «write», «rite»). Чтобы учесть эти ограничения, английские и французские орфографические правила включают в себя смесь фонетической и лексической транскрипции, что плохо для писателя, но очень удобно для читателя.



**Рис. 1.3.** Орфографические иррегулярности не так иррациональны, как кажется. Хотя один и тот же китайский слог может обозначаться на письме 20, а то и 30 разными символами, эта избыточность далеко не бессмысленна. Напротив, она очень помогает китайским читателям, потому что этот язык богат омофонами – словами, которые звучат одинаково, но имеют разные значения, как, например, английские «one» («один») и «won» («победил»)[[70]](#footnote-70). Выше приведена целая история, все 92 слога которой читаются как «ши»! Любой китаец может понять этот текст. Будь он транскрибирован фонетически – «ши‑ши‑ши…» – это было бы невозможно. Китайские иероглифы снимают омонимию, используя разные символы для разных значений. Именно омофония объясняет, почему в английском языке до сих пор сохраняется такое множество различных вариантов написания одних и тех же звуков («I scream for ice cream»[[71]](#footnote-71)).

Итак, мы только начинаем понимать ограничения, лежащие в основе английской орфографической системы. Сможем ли мы когда‑нибудь реформировать ее? Лично я убежден, что радикальное упрощение неизбежно. Мы обязаны облегчить правописание хотя бы ради наших детей, тратящих сотни часов на эту жестокую игру. Некоторые из них мучаются всю жизнь: одни – из‑за дислексии, другие – просто потому, что родились в малообеспеченных или многоязычных семьях. Они являются подлинными жертвами нашей архаичной системы правописания. Надеюсь, благодаря мобильным телефонам и Интернету следующее поколение настолько привыкнет к сокращенной орфографии, что перестанет относиться к этому вопросу как к табу и найдет в себе достаточно силы воли, чтобы подойти к нему рационально. Впрочем, эту проблему не решить указом, фиксирующим фонологическое написание. Английский никогда не будет таким прозрачным, как итальянский. Мечта о единых правилах правописания – это иллюзия, о чем наглядно свидетельствует один любопытный буклет, который уже некоторое время циркулирует по Европе:

Комиссары Евросоюза объявили о решении принять в качестве предпочтительного языка для общения на территории Европы английский язык, а не немецкий, хотя такая возможность тоже рассматривалась. В ходе переговоров Британское правительство признало, что английскую орфографию можно усовершенствовать, и утвердило пятилетний поэтапный план по созданию евроанглийского языка (сокращенно – Евро).

В первый год вместо мягкого «c» будет использоваться «s». Несомненно, граждане воспримут эту новость с радостью. Кроме того, твердое «c» будет заменено на «k». Это не только исключит путаницу, но и приведет к тому, что на печатающих устройствах станет на одну букву меньше. Особый восторг общественности вызовут упрощения второго года, в том числе замена неудобного «ph» на «f». В результате такие слова, как «photograph», станут на 20 % короче.

На третьем году благодаря всеобщему одобрению новой системы планируется осуществить более сложные изменения. Правительство будет всячески содействовать исключению удвоенных букв, которые всегда были источником орфографических ошибок. Кроме того, все согласятся, что ужасные немые «е» – позор для языка. Они тоже исчезнут.

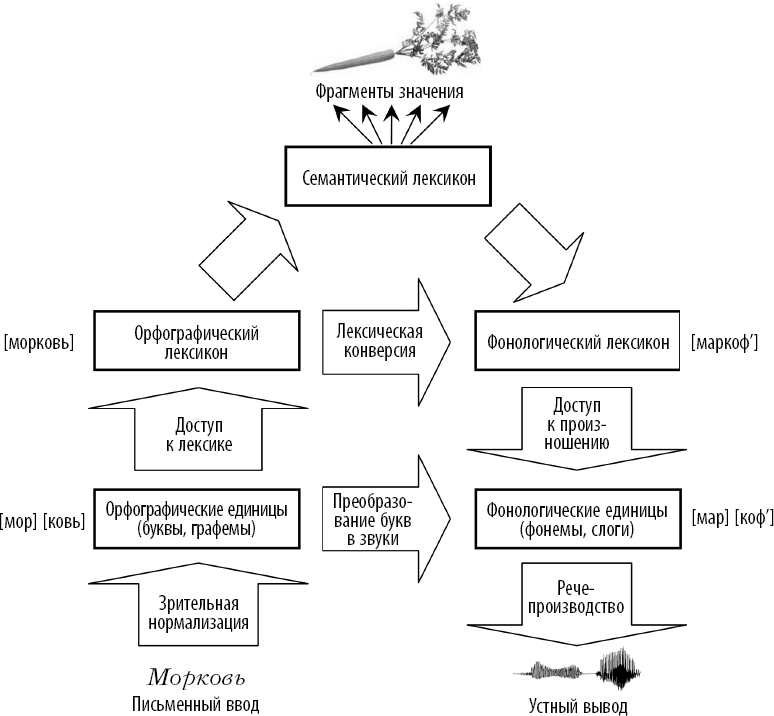
К четвертому году люди будут готовы к таким нововведениям, как замена «th» на «z» и «w» на «v». В течение пятого года можно будет избавиться от ненужной «o» в словах с «ou». Аналогичные изменения, безусловно, коснутся и других комбинаций букв.

В конце пятого года мы получим по‑настоящему разумный письменный язык. Больше не будет никаких проблем и сложностей. Все будут понимать друг друга без труда. Мечта наконец‑то сбудется!

### Фонологический и семантический маршруты

Прежде чем мы двинемся дальше, я хотел бы подытожить то, о чем мы говорили ранее. Итак, все системы письма стремятся к компромиссу между точной репрезентацией звука и быстрой передачей смысла. Эта дилемма находит непосредственное отражение в мозге читателя. Во время чтения мы задействуем два пути обработки информации, которые сосуществуют и дополняют друг друга. Редкие и новые слова, а также те, что произносятся так, как пишутся, мы предпочитаем обрабатывать с помощью фонологического маршрута: сначала мы расшифровываем буквенную цепочку, затем преобразуем ее в звук и, наконец, пытаемся получить доступ к значению звукового паттерна (если таковое имеется). Когда же мы сталкиваемся со словами, которые употребляются достаточно часто или произносятся не так, как пишутся, мы выбираем другой маршрут: сперва мы извлекаем значение слова, а потом, на базе этой лексической информации, восстанавливаем его произношение (рис. 1.4).

Наилучшее доказательство существования двух механизмов чтения ученые получили в рамках изучения травм головного мозга и их психологических последствий. Некоторые пациенты после инсульта и других повреждений теряют способность быстро определять произношение написанных слов[[72]](#footnote-72). Очевидно, у таких людей поврежден механизм, преобразующий буквы в звуки. Хотя раньше они читали абсолютно нормально, налицо все признаки синдрома, называемого фонологической дислексией. Больные не могут читать вслух редкие слова, даже если те произносятся так, как пишутся (например, «секстант»), а также неологизмы и выдуманные слова (например, «гаджет», «сине‑алый» или «киськисеп»[[73]](#footnote-73)). Как ни странно, часто используемые слова они понимают и могут прочесть вслух, причем даже в том случае, если их произношение не совпадает с написанием (например, «глаз», «солнце», «мужчина»[[74]](#footnote-74)). Иногда они путают одно слово с другим. Фонологический дислексик может, например, прочитать слово «мясо» как «еда»[[75]](#footnote-75) или слово «живописец» как «художник». Сама природа этих ошибок свидетельствует о том, что доступ к значению слова в основном не нарушен. Если бы больной вообще не понимал слово, которое он пытается прочесть, он бы не смог извлечь даже приблизительное его значение. Пациенты с фонологической дислексией, по‑видимому, узнают написанные слова, хотя определение их произношения становится практически невозможным. Складывается впечатление, будто один из маршрутов для чтения (от букв к звуку) у них заблокирован, в то время как по другому пути (от букв к смыслу) информация циркулирует по‑прежнему.



**Рис. 1.4.** Чтение слов происходит по нескольким параллельным маршрутам. Чтобы перейти от написанного слова (внизу слева) к его произношению (внизу справа), мозг задействует пути, которые обозначены на рисунке прямоугольниками и стрелками. Если слово пишется так, как произносится, мы используем поверхностный маршрут и преобразуем буквы в звуки напрямую. Если слово пишется не так, как произносится, например «морковь», необходимо обратиться к более глубинным репрезентациям. Последние можно сравнить с ментальными лексиконами, которые придают значению словесную форму.

Возможна и противоположная ситуация. Люди, страдающие другим синдромом, так называемой поверхностной дислексией, лишены прямого доступа к значению слов и во время чтения вынуждены медленно проговаривать слово за словом. В этом случае особенно ярко проявляются ограничения «молчаливого голоса». Например, пациенты с поверхностной дислексией могут читать слова и неологизмы, которые произносятся так, как пишутся (например, «банан» или «мем»[[76]](#footnote-76)), но не слова, написание и произношение которых отличаются. Обычно они стандартизируют их путем слепого преобразования в звуки. Один больной, например, прочитал «enough»[[77]](#footnote-77) как [ɪnog], а затем уверял, что никогда не слышал этого странного слова. Очевидно, при поверхностной дислексии прямой путь от букв к ментальному лексикону заблокирован, в то время как преобразование букв в звуки продолжает функционировать.

Контраст между этими разновидностями дислексии подтверждает существование двух совершенно разных механизмов чтения. Кроме того, он свидетельствует о том, что ни один из них не позволяет читать *все* слова. Прямой путь – от букв к словам и их значениям – может быть использован для чтения большинства слов, если они употребляются достаточно часто, но не работает с редкими и новыми словами, которые отсутствуют в нашем ментальном лексиконе. И наоборот, альтернативный путь – от букв к звукам и от звуков к значению – не поможет при чтении омофонов (например, «блог» – «блок»[[78]](#footnote-78)) и слов, которые пишутся не так, как произносятся (например, «мужчина»), но играет незаменимую роль в заучивании новых слов. Когда мы читаем, оба маршрута дополняют друг друга, и каждый вносит свой вклад в уточнение произношения. Большая часть фонем слова может быть извлечена из буквенной цепочки путем применения простых правил преобразования букв в звук. Периодически возникающие двусмысленности при этом разрешаются на основании подсказок более высоких лексических и семантических уровней. В детстве эти два маршрута не всегда скоординированы. Некоторые дети в основном полагаются на прямой маршрут. Они пытаются угадать слово и зачастую подменяют его синонимом (например, читают слово «здание» как «дом»[[79]](#footnote-79)). Другие бормочут себе под нос все предложение, проговаривая каждую букву, но не могут перейти от звуков к значению. Необходимы годы тренировки, прежде чем эти два маршрута смогут создать единую интегрированную систему чтения, какую мы наблюдаем у взрослых.

Согласно большинству современных моделей чтения, беглое чтение предполагает тесное взаимодействие между двумя вышеописанными маршрутами. При этом роль каждого зависит как от слова, которое необходимо прочитать (известное – неизвестное; частое – редкое; произносится так, как пишется – произносится не так, как пишется), так и от поставленной задачи (чтение вслух – понимание текста). В 1980‑х и 1990‑х годах некоторые исследователи попытались объяснить эти наблюдения одномаршрутной системой. В то время особый интерес вызвали только появившиеся нейросетевые модели. Многие рассматривали их как универсальные самообучающиеся машины, способные овладеть любым навыком в отсутствие заранее заданной когнитивной структуры. Было предположено, что овладение навыком чтения можно смоделировать путем соединения буквенных входов с фонологическими выходами, а промежуточные связи настроить с помощью мощного алгоритма обучения. Таким образом ученые надеялись получить единую сеть, которая могла бы имитировать нормальное чтение и его патологии, но без необходимости принимать во внимание множественные пути обработки информации в коре. Хотя в то время такие сети рассматривались в качестве огромного шага вперед, особенно в сфере моделирования преобразования букв в звуки[[80]](#footnote-80), большинство современных исследователей убеждены, что этот подход неверен. По моему мнению, невозможно смоделировать чтение без тщательного анализа структуры мозга, которая включает множество параллельных и отчасти избыточных путей. Практически все современные модели чтения, даже если они основаны на искусственных нейросетях, построены на идее множественных маршрутов[[81]](#footnote-81). Обсуждая церебральные механизмы чтения, мы увидим, что характерной особенностью строения коры является наличие различных параллельных путей. Таким образом, даже модель с двумя путями, вероятно, не отражает истинную сложность нейронных систем, отвечающих за чтение. Разделение на два пути – фонологический и семантический – создано исключительно для удобства.

### Ментальные словари

Пока мы говорили о поверхностном маршруте, преобразующем графемы в фонемы, у вас могло сложиться впечатление, будто мысленное чтение сводится к короткому перечню относительно простых действий. Казалось бы, достаточно сохранить карту нескольких сотен графем и их произношений. Однако если мы посмотрим на то, как работает глубинный маршрут, позволяющий распознавать тысячи знакомых слов, то убедимся, что требуется хранилище побольше. Специалисты по когнитивной психологии сравнивают его со словарем или «ментальным лексиконом». Без сомнения, о ментальных словарях следует говорить во множественном числе: в наших головах содержится самая разная информация о словах. У всех нас есть свой собственный ментальный орфографический словарь, в котором собраны письменные формы всех известных нам слов. Эти орфографические воспоминания, вероятно, хранятся в виде иерархических деревьев букв, графем, слогов и морфем. Например, слово «морковь» должно выглядеть как [мор] + [ковь]. Кроме того, у нас имеется отдельный «фонологический словарь». Он подсказывает нам, что «морковь» произносится как [маркофь]. Третий словарь – грамматический: в нем указано, что «морковь» – существительное женского рода единственного числа, относится к 3‑му склонению и так далее. Наконец, каждое слово ассоциируется с десятками семантических признаков, определяющих его значение: морковь – это съедобный овощ удлиненной формы, характерного оранжевого цвета и прочее. Все эти ментальные словари открываются один за другим по мере того, как наш мозг извлекает соответствующую информацию. Образно говоря, **в нашем сознании имеется целая библиотека справочников – от руководств по правописанию до энциклопедий**.

Количество словарных статей в ментальных словарях огромно. Объем лексических знаний человека, как правило, сильно недооценивают. Я сам слышал, как весьма сведущие люди отстаивали общепринятое представление о том, будто в пьесах Расина и Корнеля использовано не больше 2000 слов. Говорят, что бейсик‑инглиш[[82]](#footnote-82) – сильно упрощенный вариант английского языка, включающий всего 850 слов – позволяет успешно выражать мысли и эмоции. Некоторые даже утверждают, будто словарный запас подростков, проживающих в бедных районах мегаполисов, сократился до 500 слов! Это не так. Согласно научным данным, лексикон среднестатистического человека составляет несколько десятков тысяч слов. Стандартный словарь содержит около 100 000 статей; как показывают исследования на основе выборочного метода, любой носитель английского языка знает около 40 000 или 50 000 из них – и это без учета составных слов. Если добавить к ним примерно такое же количество имен собственных, аббревиатур (CIA, FBI), товарных знаков (Nike, Coca‑Cola) и иностранных слов, получится, что в общей сложности каждый из наших ментальных лексиконов содержит от 50 000 до 100 000 записей. Эти числа – еще одно доказательство невероятных возможностей нашего мозга. Читая слово, любой человек с легкостью извлекает нужное значение из 50 тысяч возможных за десятые доли секунды. А ведь все, что у него есть в качестве источника – это несколько крошечных полосок света на сетчатке.

### Собрание демонов

Работу системы чтения в условиях, близких к продиктованным нашей нервной системой, имитируют несколько моделей лексического доступа. Почти все они основаны на идеях, впервые сформулированных Оливером Селфриджем в 1959 году. Селфридж предположил, что наш лексикон похож на огромное собрание «демонов», или «пандемониум»[[83]](#footnote-83). Согласно этой метафоре, ментальный лексикон можно представить в виде гигантского полукруга, в котором десятки тысяч демонов соперничают друг с другом. Каждый демон реагирует только на одно слово и сообщает об этом криком. Всякий раз, когда на сетчатке возникает цепочка букв, все демоны «разглядывают» ее одновременно. Те, кто «видит» свое слово, громко вопят. Таким образом, когда появляется слово «scream» («крик»), отвечающий за него демон начинает кричать. Вместе с ним голосит и его сосед, который кодирует слово «cream» («сливки»). Так «scream» или «cream»? После непродолжительного состязания защитник «сливок» вынужден уступить – ясно, что его противник получил более сильную поддержку от стимульной строки «s‑c‑r‑e‑a‑m». В этот момент слово распознается, и соответствующая информация может быть передана остальной системе.

За кажущейся простотой этой метафоры скрывается несколько ключевых идей о том, как именно функционирует нервная система во время чтения:

• МАССОВАЯ ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА: все демоны работают одновременно. В результате нет никакой необходимости исследовать каждое из 50 000 слов в нашем ментальном словаре одно за другим. Следовательно, массовый параллелизм пандемониума приводит к существенной экономии времени.

• ПРОСТОТА: каждый демон выполняет элементарную задачу – он проверяет, в какой степени стимульные буквы соответствуют его целевому слову. Таким образом, модель пандемониума успешно обходится без гомункула, или маленького человечка, который, согласно народной психологии, управляет нашим мозгом. (А кто управляет его мозгом? Второй, совсем крошечный гомункул?) В этом отношении модель пандемониума можно сравнить с девизом философа Дэна Деннета: «Человек выбрасывает из схемы воображаемого гомункула и заменяет его армией идиотов, которые и выполняют всю работу»[[84]](#footnote-84).

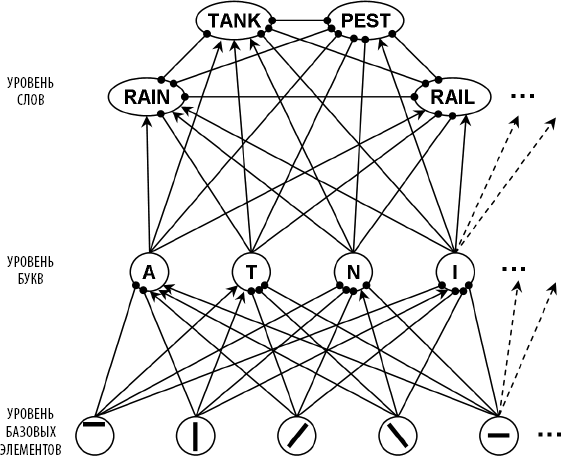
• КОНКУРЕНЦИЯ И НАДЕЖНОСТЬ: демоны борются за право представлять правильное слово. Конкуренция обеспечивает гибкость и надежность. Пандемониум автоматически приспосабливается к сложности поставленной задачи. Когда вокруг нет соперников, даже такое редкое, неправильно написанное слово, как «astrqlabe»[[85]](#footnote-85), может быть распознано очень быстро – представляющий его демон, даже если изначально он кричит тихо, в конце концов одержит победу. Другое дело, если стимулом будет такое слово, как «lead». В этом случае активизируются многие демоны (например, «bead», «head», «read», «lean», «leaf», «lend» и прочие). Лишь после ожесточенных споров демон слова «lead» сумеет взять верх.

Все эти свойства (в упрощенном виде) согласуются с основными характеристиками нашей нервной системы. Человеческий мозг, состоящий почти из 100 миллиардов (1011) клеток, представляет собой архетип массово‑параллельной системы, где все нейроны работают одновременно. Связи, которые их соединяют, так называемые синапсы, передают информацию о внешнем сенсорном стимуле. Некоторые из этих синапсов являются ингибирующими (тормозящими). Это означает, что при срабатывании исходного нейрона происходит подавление возбуждения других нервных клеток. Канадский нейрофизиолог Дональд Хебб уподобил результат сети «клеточных ансамблей» – коалиций нейронов, постоянно конкурирующих между собой. По этой причине неудивительно, что пандемониум Селфриджа послужил источником вдохновения для многих теоретических моделей нервной системы, включая первые нейросетевые модели чтения. На рис. 1.5 показана одна из самых ранних моделей, предложенная Джеем Макклелландом и Дэвидом Румельхартом в 1981 году[[86]](#footnote-86). Она включает три иерархических уровня нейроноподобных модулей:

• Нижние входные модули чувствительны к линейным сегментам, отображаемым на сетчатке глаза.

• В середине находятся детекторы букв, которые срабатывают всякий раз, когда появляется определенная буква.

• Верхние модули кодируют целые слова.



**Рис. 1.5.** Процесс идентификации слов подобен обширному собранию, где тысячи буквенных и словесных модулей сообща пытаются обеспечить наилучшую интерпретацию входной буквенной цепочки. В модели Макклелланда и Румельхарта, фрагмент которой приведен на рисунке, базовые характеристики входной цепочки активируют детекторы букв, а те подключаются к детекторам соответствующих слов. Связи могут быть возбуждающими (стрелки) или тормозящими (линии с черными кружками на конце). Конкуренция между лексическими модулями в конечном счете позволяет идентифицировать доминирующее слово – наиболее подходящую гипотезу о поступающей буквенной цепочке, которую выбирает сеть.

Все они соединены многочисленными связями. Подобное взаимодействие (коннективность) превращает сетевую динамику в сложную политическую игру, в которой буквы и слова поддерживают, критикуют или исключают друг друга. Если вы внимательно посмотрите на рисунок, то увидите возбуждающие связи, обозначенные стрелочками, и ингибирующие связи, обозначенные кружочками. Их роль заключается в распространении голосов каждого из демонов. Входной детектор, кодирующий некий базовый элемент, например вертикальную черту, посылает сигнал всем буквам, содержащим этот специфический компонент. Иными словами, каждый зрительный нейрон «голосует» за ту или иную букву. На следующем уровне детекторы букв избирают целые слова, стимулируя соответствующие им модули. Наличие букв «А» и «N», например, поддерживает слова «RAIN» и «TANK», частично выступает в пользу слова «RAIL», но совсем не реагирует на слово «PEST».

Не менее важную роль в отборе наилучшего кандидата играет и торможение. Благодаря тормозящим связям буквы могут «голосовать» против слов, которые их не содержат. Например, модуль, кодирующий букву «N», выступает против слова «RAIL» и оказывает на него сдерживающее влияние. Кроме того, конкурирующие слова подавляют друг друга. Таким образом, идентификация слова «RAIN» несовместима с присутствием слова «RAIL», и наоборот.

Нисходящие связи ведут от слов к составляющим их буквам. Этот процесс можно сравнить с сенатом, где буквы представлены словами. Слова же активно поддерживают буквы, которые за них «проголосовали». Взаимные связи позволяют создавать устойчивые коалиции, способные компенсировать случайное отсутствие буквы. Например, если в слове «крокдил» отсутствует «o», то его соседи все равно «изберут» слово «крокодил», а последний «проголосует» за наличие средней буквы «о», которой физически нет. В целом для интеграции многочисленных статистических ограничений, объединяющих уровни слов, букв и базовых элементов, требуются миллионы связей.

Другие тонкости позволяют всей сети работать бесперебойно. Например, словесным модулям могут быть присущи разные пороги активации. Слово, которое встречается часто, характеризуется более низким порогом, нежели редкое слово, и при равной восходящей поддержке имеет больше шансов на «победу». Самые последние модели также осуществляют подробное кодирование позиции буквы в слове. Такая сеть обладает столь сложной динамикой, что полностью описать ее математически невозможно. Приходится прибегать к компьютерным симуляциям – только так мы можем установить, сколько времени требуется системе, чтобы определить правильное слово и то, как часто она ошибается.

### Параллельное чтение

Если когнитивисты до сих пор не отказались от всех подобных сложных моделей чтения, то это потому, что их прогнозы отлично согласуются с эмпирическими данными. Модели, вдохновленные идеей пандемониума Селфриджа, не только воспроизводят результаты классических экспериментов по скорости чтения и ошибкам, но и позволяют открыть новые явления, составляющие фундаментальные свойства нашего считывающего аппарата.

Допустим, вас попросили разработать программное обеспечение для распознавания письменной речи. Независимо от того, какое решение вы выберете, на длинных словах ваша программа, скорее всего, будет работать медленнее. Для программы, например, совершенно естественно обрабатывать буквы одну за другой, слева направо. В силу постепенной обработки можно ожидать, что слово из шести букв займет примерно вдвое больше времени, чем слово из трех букв. В любой последовательной модели время распознавания должно увеличиваться прямо пропорционально количеству букв.

Но это – машина. Для человеческого мозга правило «время чтения прямо пропорционально количеству букв» не выполняется. У грамотных взрослых время, затраченное на чтение слова, практически не зависит от его длины. Иначе говоря, если слова содержат не более шести или семи букв, их распознавание занимает приблизительно такое же количество времени, как и коротких[[87]](#footnote-87). Это значит, что наш мозг задействует механизм параллельной обработки букв, то есть он может обрабатывать все буквы одновременно. Этот результат несовместим с метафорой компьютерного сканера, зато в точности согласуется с гипотезой пандемониума, в рамках которой миллионы специализированных процессоров работают одновременно и параллельно на каждом из нескольких уровней (базовые элементы, буквы и слова).

### Активное декодирование букв

Продолжим эту компьютерную метафору. В классической компьютерной программе информация обычно обрабатывается в несколько последовательных этапов – от простейших операций до самых сложных. Наиболее логичная цепочка выглядит так: первая подпрограмма распознает отдельные буквы, вторая группирует их в графемы, третья исследует потенциальные слова. Проблема в том, что такие программы, как правило, крайне нетерпимы к ошибкам. Любой сбой на первом этапе обычно приводит к срыву всего процесса распознавания. Даже самое лучшее программное обеспечение для определения символов, которое имеют современные сканеры, очень чувствительно к качеству изображения – несколько пылинок на сканирующем окне могут превратить идеальную страницу в искаженный текст, который компьютер считает тарабарщиной.

В отличие от машины, наша зрительная система обожает разрешать двусмысленности. Хотите убедиться в этом сами? Прочтите следующее предложение:

На шерраее шуршиш оеенняя лисшва[[88]](#footnote-88).

Только что ваш взгляд успешно преодолел целый ряд сложностей, которые поставили бы в тупик любую классическую компьютерную программу. Вы заметили, что в слове «террасе» буквы «с» и «е» на самом деле написаны одинаково? То же самое мы видим в слове «осенняя», но ваша зрительная система воспринимает первую букву как «с», а вторую – как «е». Слово «шуршит» еще хуже. Буквы «ш», «т» и «и» так похожи![[89]](#footnote-89) Подобные сложности разрешаются контекстом: цепочка букв «иуртиш» едва ли существует, а вот вариант «шуршит» отлично вписывается в остальное предложение.

Таким образом, неоднозначности, которые привели бы к сбою в любой машине, человек даже не воспринимает. Эта устойчивость к ошибкам, практически несовместимая с классической компьютерной программой, прекрасно согласуется с идеей пандемониума, где буквы, графемы и слова поддерживают друг друга за счет множества избыточных связей. Тайного «сговора» букв, слов и контекста достаточно, чтобы обеспечить необычайную надежность нашего считывающего аппарата. Альберто Мангуэль был прав: именно читатель придает смысл написанному тексту – его «опытный взгляд» вдыхает жизнь в то, что иначе осталось бы мертвой буквой. Идентификация букв и слов есть результат активного нисходящего процесса декодирования, в рамках которого мозг посылает к зрительному сигналу ту или иную информацию.

Психологи обнаружили любопытное проявление этого активного процесса декодирования – так называемый эффект превосходства слова. В классическом эксперименте Джеральда Райхера[[90]](#footnote-90) взрослых испытуемых просят определить, какая из двух возможных букв (например, «D» или «T») появляется на экране. Уровень сложности корректируется таким образом, чтобы человек лишь изредка давал правильный ответ. Иногда буква показывается одна («D» или «T»), а иногда – в контексте других букв, образующих слово (например, «HEAD» или «HEAT»[[91]](#footnote-91)). Обратите внимание, что дополнительные буквы не добавляют никакой полезной информации. Поскольку в обоих случаях присутствуют одни и те же начальные сочетания «HEA‑», испытуемые должны принять решение исключительно на основе последней буквы. Как ни странно, все они гораздо хуже справлялись с задачей, если буква высвечивается на экране одна, а не в сопровождении трех других! Идентификация улучшается в разы, когда буква представлена в контексте слова. Похоже, предъявление целого слова помогает частично устранить шум во входном стимуле. Этот эффект сохраняется даже в том случае, если буква находится в составе неологизма («GERD» или «GERT»[[92]](#footnote-92)) или в цепочке согласных, которая выглядит как настоящее слово («SPRD» или «SPRT»[[93]](#footnote-93)). Однако это не работает со случайными последовательностями («GQSD» или «GQST»)[[94]](#footnote-94).

Опять же это явление трудно объяснить с помощью линейной модели обработки информации, в которой идентификация отдельных букв обязательно предшествует их объединению в более крупные единицы. Эффект превосходства слова, напротив, подчеркивает избыточность и параллелизм процедур зрительного распознавания слов. Даже когда мы сосредотачиваем внимание на одной букве, мы автоматически обращаемся к контексту, в который она помещена. Если этот контекст является словом или его фрагментом, он дает нам доступ к большему количеству уровней кодирования (графемы, слоги и морфемы), чьи «голоса» добавляются к «голосам» букв и облегчают их восприятие. Большинство моделей чтения объясняют эффект превосходства слова следующим образом: буквы и слова взаимодействуют в рамках двустороннего процесса – детекторы графем и детекторы слов более высокого уровня поддерживают обнаружение букв, совместимых с интерпретацией исходной цепочки. Проще говоря, то, что мы видим, зависит от нашего восприятия.

### Конкуренция в чтении

Итак, компьютерная метафора, сравнивающая человека со сканером, некорректна. Расшифровка слова не происходит строго последовательно, а время, необходимое для его чтения, не связано с количеством букв в нем. Поэтому вернемся к модели пандемониума, где распознавание осуществляется собранием демонов. Время, которое ему требуется для принятия важного решения («время конвергенции»), зависит не столько от содержания самой проблемы, сколько от споров, которые она вызывает. Когда все сенаторы согласны, самый сложный закон будет принят без длительных прений. И наоборот, даже незначительный вопрос, если он затрагивает деликатную проблему, может обернуться ожесточенными дебатами.

Исследования чтения показывают, что мозг во время этого процесса во многом ведет себя как ментальный сенат. Распознавание слова требует того, чтобы все задействованные системы пришли к согласию относительно интерпретации входящей информации. Таким образом, время, необходимое на чтение слова, в первую очередь зависит от конфликтов и коалиций, которые оно порождает в структуре коры.

Специалисты по экспериментальной психологии обнаружили, что конфликты могут возникать на всех уровнях обработки слова. Например, было установлено, что слова из ментального лексикона конкурируют со своими «соседями» – словами, которые отличаются от них всего на одну букву[[95]](#footnote-95). Так, слово «сом» сожительствует со словами «дом», «ком», «лом», «ром», «том», «сам», «сок», «сон» и «сор»[[96]](#footnote-96), а слово «идея» – одинокий отшельник, «живущий» один. Опыт показывает, что количество соседей слова, в особенности их относительная частотность, играют ключевую роль в скорости, с которой мы это слово распознаем[[97]](#footnote-97).

Во многих случаях наличие соседей помогает. Чем больше таковых имеет слово, тем быстрее мы можем определить, что оно принадлежит к лексикону нашего родного языка. Так, наличие соседей делает слово «сом» более типичным для русской орфографии, чем слово «идея». Кроме того, плотно заселенные «кварталы» обеспечивают больше возможностей для обучения. Например, у нас гораздо больше шансов запомнить написание и произношение слов, которые заканчиваются на «‑ом», чем одного слова, заканчивающегося на «‑дея». Поэтому этот «изгой» хуже кодируется как на зрительном, так и на фонологическом уровне.

Впрочем, много соседей – это не всегда хорошо. Как правило, чтобы понять или назвать слово, необходима однозначная идентификация. Следовательно, отделение от всех соседей – операция, требующая времени и усилий, особенно в том случае, если те употребляются часто, а, значит, выигрывают в лексической конкуренции. Например, называние слова «сом» происходит относительно медленно, поскольку оно конкурирует с такими часто встречающимися словами, как «сон»[[98]](#footnote-98) и «сок»[[99]](#footnote-99). Наш лексикон – это арена, на которой идет жестокая борьба, причем более употребляемые слова имеют выраженное преимущество.

Конкуренция возникает и в рамках фонологического маршрута, преобразующего буквы в звуки. Например, чтобы вслух прочитать слово «beach», носителю английского языка требуется больше времени, чем слово «black». В слове «beach» исходная буквенная цепочка разбивается на сложные графемы «ea» и «ch», произношение которых отличается от произношения отдельных букв «e», «a», «c» или «h». Слово «black» проще, поскольку каждая из его букв непосредственно соответствует закрепленному за ней звуку. Чтобы продемонстрировать скрытый конфликт между уровнем букв и уровнем графем, обратимся к экспериментальной психологии. Как показывают исследования, определение слова, состоящего из сложных графем, включает короткий период бессознательной конкуренции, которая ведет к замедлению реакции. В результате называние слов с диграфами занимает больше времени, чем в случае с простыми словами, такими как «black»[[100]](#footnote-100).

Примечательно, что большинство этих конфликтов разрешаются автоматически, без вмешательства сознания. Базовая стратегия, к которой прибегает наша нервная система при столкновении с неоднозначностью, состоит в том, чтобы не исключать ни одного возможного варианта. Разумеется, это выполнимо только в системе с множеством параллельных путей, обеспечивающих одновременное исследование нескольких интерпретаций. Ввиду такой открытой организации последующие уровни анализа могут делиться своими соображениями, пока не будет достигнуто решение, удовлетворяющее всех участников процесса. В некоторых случаях только контекст позволяет установить значение слова или его произношение. Возьмем следующее предложение: «Принц запер замок на замок»[[101]](#footnote-101). Эксперименты показывают, что в таких случаях мозг бессознательно активирует все возможные интерпретации слова, пока контекст не ограничит толкование одним значением[[102]](#footnote-102). К счастью, наши процессы чтения настолько эффективны, что мы редко осознаем подобные двусмысленности – если только они не очень смешные, как в случае с писательницей Дороти Паркер, которая во время медового месяца пропустила срок сдачи рукописи. «Скажите редактору, – попросила она своего агента, – что я была занята. Дела, знаете ли… Если честно, я просто затрахалась. Ну или без “за”»[[103]](#footnote-103).

### От поведения к мозговым механизмам

В этой главе мы убедились, что процесс чтения можно разложить на несколько последовательных этапов обработки информации. Все механизмы чтения, которые свойственны человеку – от обработки изображения в сетчатке и инвариантного распознавания букв до доступа к произношению, распознавания морфем и разрешения лексических конфликтов – невероятно эффективны. **За доли секунды, без всяких видимых усилий, наш мозг решает задачу, которая не по силам ни одной современной компьютерной программе.** Параллельная обработка всех знаков слова, искусное устранение двусмысленностей, мгновенный доступ к одному из 50 000 слов в ментальном лексиконе – все это указывает на то, что наш мозг идеально приспособлен к чтению.

Потрясающая эффективность процесса чтения только сгущает таинственный мрак, окутывающий его истоки. Как нашему мозгу удалось так хорошо адаптироваться к задаче, для которой он не был предназначен изначально? Каким образом всего за несколько тысяч лет структура мозга двуногого примата, превратившегося в охотника‑собирателя, сумела приспособиться к функции зрительного распознавания слов? Чтобы найти ответ, обратимся к нейронным сетям, отвечающим за чтение. Как показывают недавние исследования, в коре нашего мозга имеется особая зона для письменных слов, очень похожая на первичную слуховую область или моторную кору, которые есть у каждого из нас. Но самое интересное, что эта область чтения одинакова у носителей английского, японского, итальянского и других языков. Значит ли это, что церебральные механизмы чтения универсальны?

## 2

## «Буквенная касса» мозга

В 1892 году французский невролог Жозеф Жюль Дежерин обнаружил, что инсульт, поражающий небольшой участок зрительной коры в левом полушарии, ведет к частичному или полному нарушению чтения. Современные нейровизуализационные исследования подтверждают: эта зона играет такую важную роль в чтении, что ее по праву можно назвать «буквенной кассой» мозга. Она расположена в одном и том же месте у читателей по всему миру и автоматически реагирует на письменную речь. Менее чем за одну пятую долю секунды – слишком малый промежуток времени для сознательного восприятия – эта область распознает буквенную цепочку независимо от поверхностных изменений в размерах, форме или положении букв и передает информацию центрам в височной и лобной долях. Первые кодируют звуковой паттерн, вторые – значение.

Сколь несуразно привычно для нас волшебство, в силу которого несколько писанных знаков вмещают бессмертные вымыслы, замысловатые похожденья ума, новые миры, населенные живыми людьми, беседующими, плачущими, смеющимися… Что как в один прекрасный день мы, мы все, проснемся и обнаружим, что вовсе не умеем читать?

ВЛАДИМИР НАБОКОВ, «БЛЕДНЫЙ ОГОНЬ»[[104]](#footnote-104)

### Открытие жозефа жюля дежерина

Одним погожим парижским утром в октябре 1887 года месье К., бывший торговец и ценитель музыки, сидел в кресле и читал книгу, как вдруг с ужасом обнаружил, что больше не может прочесть ни единого слова! За несколько дней до этого он чувствовал слабость и онемение то в правой руке, то в правой ноге, а также иногда запинался при разговоре. Эти приступы дискомфорта длились недолго и не слишком его беспокоили. Теперь проблема была гораздо серьезнее: читать было просто невозможно! Как ни странно, месье К. по‑прежнему мог говорить, распознавать предметы и людей вокруг и даже писать. Что же могло спровоцировать возникновение этой неприятной ситуации?

Месье К. рассудил, что ему просто нужны новые очки, и отправился на прием к известному офтальмологу Эдмунду Ландольту. Доктор Ландольт быстро понял, что, к сожалению, очки не решат проблему. Заподозрив инсульт, он обратился за помощью к выдающемуся французскому неврологу Жозефу Жюлю Дежерину из Королевской больницы Бисетр. Встреча с месье К. состоялась 15 ноября 1887 года. После тщательного психологического и анатомического обследования доктор Дежерин сумел поставить правильный диагноз и сделать первые научные выводы о мозговых основах чтения[[105]](#footnote-105). Состояние месье К. он назвал «чистой словесной слепотой», имея в виду частичную утрату способности к зрительному распознаванию букв. Само существование такой болезни подразумевало наличие в мозге специализированного «зрительного центра для букв», отвечающего за чтение.

Дежерин и Ландольт установили, что их пациент больше не распознавал отдельные буквы и слова:

…он думает, что сошел с ума: он понимает, что эти знаки – буквы, но не может их распознать, хотя настаивает, что прекрасно их видит, и способен обвести форму рукой. Если попросить его перерисовать слово, это дается ему с большим трудом. Он медленно копирует каждую букву по одному элементу зараз, словно работает над чертежом, и проверяет каждую деталь, дабы убедиться в точности своего рисунка. Несмотря на все усилия, он по‑прежнему не может назвать ни единой буквы.

В этом и заключается парадокс словесной слепоты: пациент слеп только к буквам и словам. Острота зрения остается превосходной, распознавание предметов и лиц не нарушено. Больной по‑прежнему может ориентироваться в новой обстановке и понимает изображения:

Когда ему показывают предметы, он называет их, не задумываясь. Он может назвать части всех инструментов в каталоге промышленных товаров. Ни разу во время этого обследования память не подвела его; рисунки мгновенно подсказывают нужное слово и способ использования каждого предмета… Когда ему дают его любимую газету *Le Matin*, пациент говорит: «Это *Le Matin*, я узнаю ее по форме», – но не может прочитать ни единой буквы в названии.

Однако в ходе клинического обследования Дежерину все же удалось выявить некоторые нарушения зрения. Справа от месье К. зрительный мир выглядел размытым: «Помещенные в правую половину поля зрения объекты кажутся более темными и менее четкими, чем в другой половине». (В неврологии это называется частичной правой гемианопсией.) Кроме того, месье К. больше не различал цвета справа (гемиахроматопсия): эта сторона мира представлялась ему в черно‑белом цвете или в оттенках серого.

Впрочем, ни то ни другое не могло объяснить трудности с чтением. Месье К. осознавал свою зрительную ограниченность, а потому автоматически старался сделать так, чтобы слова, которые он пытался прочесть, оказывались левее точки фиксации. К сожалению, это не помогало – читать он все равно не мог.

Вероятно, лучшим доказательством избирательного нарушения способности к чтению служил один любопытный факт: хотя месье К. не мог читать буквы, он по‑прежнему был способен распознавать цифры. Месье К. без труда читал последовательности арабских цифр и выполнял сложные вычисления. Это важное наблюдение подразумевает, что чтение цифр опирается на анатомические пути, частично отличные от тех, которые используются для чтения букв и слов.

С другой стороны, цифры и буквы похожи по форме; и те и другие произвольны и взаимозаменяемы. Действительно, многие культуры представляют числа с помощью буквенных знаков – в арабском языке, например, символы  и , которые выглядят как греческие буквы, обозначают цифры 8, 7, 6, 5 и 4. Следовательно, любая диссоциация между цифрами и буквами не может быть объяснена исключительно потерей остроты зрения. Никакие очки, сколь бы совершенными они ни были, не могли излечить дефицит чтения у месье К. Его недуг проистекал из мозга. Это значит, что за чтение буквенных цепочек должна отвечать определенная область коры.

Другие наблюдения только подтвердили уникальность проблемы месье К. Доктор Дежерин настаивает, что интеллект и речь его пациента были сохранены. Месье К. ясно выражал свои мысли и после инсульта имел такой же обширный словарный запас, как и раньше. Не пострадала и письменная речь:

По своей инициативе больной пишет так же хорошо, как и говорит. Когда я сравниваю многочисленные образцы его письма, я не нахожу в них никаких недочетов, никаких орфографических ошибок, никакой перестановки букв… Под диктовку он пишет легко и бегло, но не может прочитать то, что записал всего минуту назад… Из‑за этого пациент раздражается, пишет несколько букв одну за другой и восклицает: «Если я смог написать эти буквы, почему я не могу их прочесть?».

На самом деле Дежерин наблюдал незначительные нарушения письменной речи, но связал их с низкоуровневым зрительным дефицитом:

Если во время письма под диктовку его отвлекают, он запутывается и уже не знает, где остановился; допустив ошибку, он уже не может ее отыскать. Раньше он писал быстрее и лучше, теперь же буквы стали более крупными, а контуры менее уверенными. Сам больной объясняет это тем, что больше не может полагаться на зрение. И действительно, вид слов, написанных им, не только не помогает, но и, кажется, так сильно беспокоит его, что он предпочитает писать с закрытыми глазами.

Сохранность способности писать была связана с мышечной памятью. Месье К. по‑прежнему мог читать буквы, если ему разрешали проследить их контуры пальцем: «Посему именно мышечное чувство пробуждает название буквы. Лучшим доказательством тому является его способность произносить слова с закрытыми глазами, когда я вожу его рукой в воздухе, дабы он мог проследить очертания букв». Годы спустя другие неврологи показали, что в таких случаях сохранным остается и тактильное чтение: пациент лучше расшифровывает буквы, когда их выводят у него на ладони, чем когда они представлены зрительно! Это ясно указывает на уровень, где возникает дефицит: моторная память буквенных форм не повреждена; нарушено только их зрительное распознавание.

### Чистая алексия

Симптомы месье К. были настолько странные, что многие не восприняли их всерьез. Как он мог писать и даже произносить по слогам самые сложные слова, но не мог читать буквы? Может, он просто симулянт или истерик? Нет, говорил Дежерин, потому что «у нас есть несколько прекрасных клинических описаний этой разновидности словесной слепоты». И действительно, современная неврология подтвердила все первоначальные наблюдения Дежерина. В настоящее время описаны сотни подобных случаев[[106]](#footnote-106). Изменилась только терминология: сегодня этот синдром называется «алексия без аграфии» (нарушение чтения без нарушения письма) или «чистая алексия».

Почему «чистая»? Как минимум по четырем причинам, причем все они были перечислены Дежерином еще в 1892 году:

• Устная речь сохранена.

• Способность писать не утрачена.

• Зрительное распознавание объектов, лиц, рисунков и даже цифр в основном соответствует норме[[107]](#footnote-107).

• Тактильное (или моторное) распознавание букв не нарушено.

Хотя в дальнейшем чистая алексия была диагностирована у многих людей, современные анализы показали, что пациенты с этим заболеванием делятся на две категории[[108]](#footnote-108). Некоторые, как и месье К., не могут прочесть ни единой буквы, а иногда – даже сопоставить верхний и нижний регистры. Такие люди не осознают, что «А» и «а» – это одна и та же буква, только в разных формах[[109]](#footnote-109).

Другие способны распознавать буквы, но по отдельности. Этот простой факт имеет важное значение в повседневной жизни. Медленно идентифицируя все буквы слова одну за другой, такие больные, как правило, могут расшифровывать слова.

В этих случаях единственное проявление чистой алексии заключается в чрезвычайно медленном чтении. В отличие от обычных людей, которым достаточно одного взгляда, чтобы прочесть слово любой длины, пациентам с чистой алексией может потребоваться до 5–10 секунд, причем время чтения увеличивается прямо пропорционально количеству букв (см. рис. 2.1; цветные иллюстрации приведены на сайте *readinginthebrain.com*). Этот характерный паттерн нарушений называется «побуквенное чтение» и иллюстрирует природу дефицита. Пациенты с чистой алексией не способны одновременно обрабатывать все буквы слова[[110]](#footnote-110).

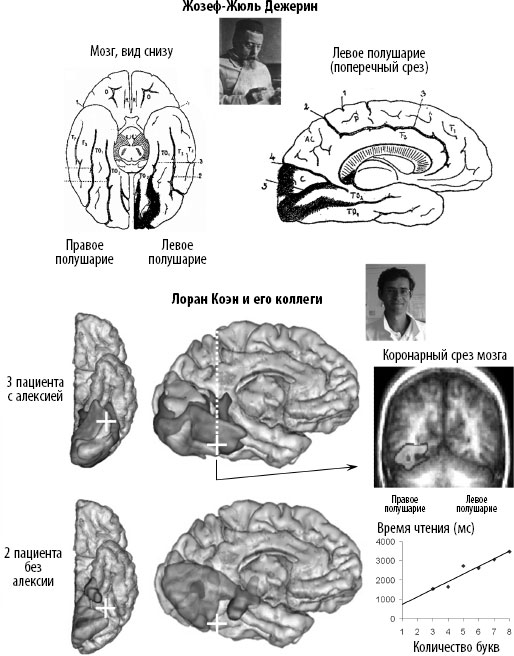
### Тайна раскрыта

Случай месье К. свидетельствует о том, что наш мозг содержит особые области для чтения, которые передают информацию о буквенной цепочке в речевые центры. Дежерин понимал: только вскрытие поможет безошибочно локализовать соответствующие участки и придать его наблюдениям «строгость физиологического эксперимента». 16 января 1892 года, спустя четыре года после первого инсульта, месье К. умер от второго мозгового кровоизлияния. Заново научиться читать он так и не сумел. Как отмечал наблюдавший его невролог, «несмотря на все его терпение, усердие и регулярные занятия, восстановить значения букв и слов не удалось». Теперь Дежерин мог произвести вскрытие. Через несколько недель на собрании Французского биологического общества он рассказал о том, что обнаружил. Вскрытие показало, что правое полушарие месье К. было полностью сохранно: первый инсульт произошел в задней части левого полушария. Были поражены «затылочная доля, особенно затылочный полюс, начиная от основания клина, а также области язычной и веретенообразной извилин». (Эти и другие области мозга изображены на иллюстрации «Как устроен мозг» в начале книги.) Факсимиле оригинального рисунка Дежерина приведено на рис. 2.1. Контуры больших желтых атрофических бляшек явственно проступают в местах коры, затронутых первым инфарктом, который случился четырьмя годами ранее и навсегда лишил месье К. способности читать.

Чтобы объяснить, как повреждение некоторых зрительных областей может избирательно влиять на чтение, Дежерин обратился к понятию дисконнекции (разобщения, отсоединения). В своем докладе Биологическому обществу он подчеркнул, что в результате инсульта у месье К. частично пострадало белое вещество – пучки волокон, соединяющие отдаленные участки мозга.

Основной очаг поражения был локализован в затылочном полюсе, отвечающем за первичную обработку зрительной информации. Частично была затронута левая зрительная кора, а также разрушены некоторые проводящие пути мозолистого тела, передающие визуальную информацию из правосторонних центров зрения.

Опираясь на эти анатомические признаки, Дежерин предположил, что в результате инсульта у месье К. произошло отключение волокон, по которым визуальная информация поступает в так называемый зрительный центр для букв. На основании других наблюдений он ограничил его угловой извилиной – складкой в коре у основания левой теменной доли. Дежерин полагал, что сам зрительный центр для букв не поврежден. Это объясняло, почему месье К. мог читать, произносить и распознавать буквы, которые выводили у него на ладони. Однако эта область, лишенная зрительного ввода, оказалась в прямом смысле отключена от остального мозга и не могла применить свои знания к поступающим зрительным стимулам. Следовательно, месье К. вовсе не был слепым. Он по‑прежнему мог видеть очертания букв и обрабатывать их, как любой другой зрительный объект, но не был способен распознавать их как буквы или слова и страдал синдромом под метким названием «словесная слепота».



**Рис. 2.1.** После инсульта больной может стать алексиком, утратив способность читать. Повреждения, выявленные во время вскрытия первого пациента с алексией и описанные Дежерином в 1892 году (вверху), аналогичны тем, которые наблюдаются у современных больных, обследованных с помощью магнитно‑резонансной томографии (внизу, по материалам статьи Cohen et al., 2003). В обоих случаях затронуты нижняя и задняя части левого полушария. Сопоставление очагов поражения нескольких больных дает возможность установить точный участок, повреждение которого систематически влияет на чтение. Эта зона существует у любого грамотного человека и всегда лежит в левой вентральной затылочно‑височной области (белые перекрестья). Некоторые пациенты с алексией могут расшифровывать слова побуквенно. Но даже в этом случае скорость их чтения остается крайне медленной и снижается с увеличением количества букв. Иначе говоря, они утратили способность к параллельному распознаванию буквенных цепочек. *Использовано с разрешения Oxford University Press.*

### Современный анализ повреждений мозга

Через 100 лет после знаменательного открытия Дежерина мой коллега‑невролог Лоран Коэн, я[[111]](#footnote-111) и несколько других исследователей[[112]](#footnote-112) вновь обратились к случаю месье К. Повреждения, которые описал Дежерин, оказались весьма распространенным явлением. У большинства наших пациентов с чистой алексией наблюдались поражения левой затылочно‑височной области, причем в том же самом месте, что и у месье К. Такие повреждения часто возникают из‑за тромба, блокирующего левую заднюю мозговую артерию, которая снабжает эту зону кровью. На рисунке 2.1 показаны контуры очагов поражения, зафиксированные у трех недавних пациентов. Все они затрагивают нижнюю поверхность задней части левого полушария.

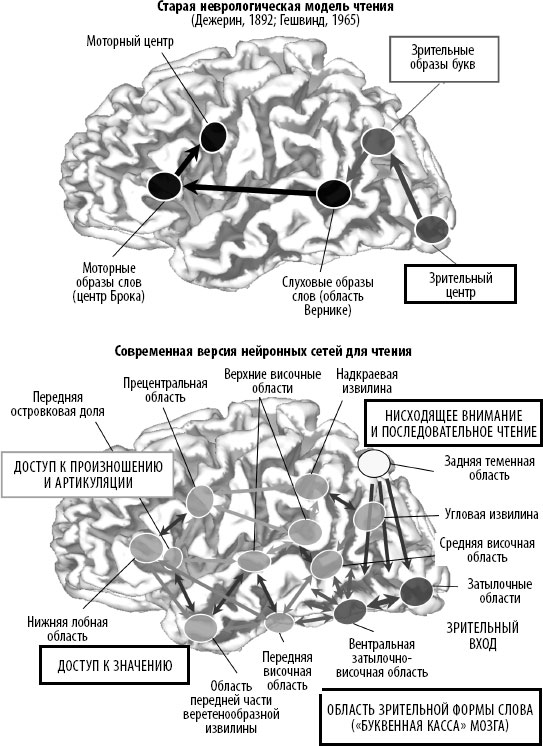
Магнитно‑резонансная томография (МРТ) намного превосходит все инструменты, которые были доступны во времена Дежерина. Благодаря этому методу современный ученый не только не должен ждать вскрытия, чтобы заглянуть в череп больного, но и может создавать компьютерные изображения повреждений, наблюдаемых у разных пациентов, а затем объединить их в едином анатомическом пространстве, которое корректирует индивидуальные различия в размере и форме мозга. Это позволяет нам пойти дальше Дежерина: мы можем определить, какие части коры отвечают только за дефицит чтения, а какие вовлечены в другие сопутствующие нарушения, такие как утрата цветового зрения. Логика проста. Шаг 1: просканируйте большое количество пациентов с алексией и вычислите общий очаг поражения в трехмерном пространстве. Эта усредненная информация даст возможность устранить пространственную хаотичность, присущую инсульту, и изолировать области коры, чаще всего связанные с дефицитом чтения. Шаг 2: вычтите повреждения группы пациентов, *не* страдающих алексией. В итоге вы получите компьютерное изображение зон, повреждение которых частично провоцирует нарушение способности читать.

Подобный анализ, представленный на рис. 2.1, показывает, что большинство отделов в задней части левого полушария не играют избирательной роли в чтении. Поражение этих затылочных областей часто наблюдается не только у людей с чистой алексией, но и у пациентов без дефицита чтения. Согласно результатам исследований, они участвуют в ранних стадиях зрительного анализа, которые не являются важными для чтения, но вносят значимый вклад в визуальное распознавание любой формы, цвета или объекта. Таким образом, инсульт, затронувший только эти задние участки, вызывает общие нарушения зрения. Как правило, такие пациенты теряют зрение в области зрительного поля и могут полностью или частично утратить способность воспринимать любые стимулы справа от точки фиксации. Как следствие, возникают сложности с чтением правой части слов и программированием правосторонних движений глаз. Хотя эти зрительные дефекты могут существенно замедлять чтение, особенно в случае предложений, требующих нескольких саккад, их не следует путать с чистой алексией как таковой[[113]](#footnote-113).

Чистую алексию вызывают повреждения области, расположенной в нескольких сантиметрах спереди от затылочного полюса, на нижней поверхности левого полушария. Эта зона известна под разными названиями. Анатомы называют ее *левой затылочно‑височной областью*, поскольку она находится на границе затылочной и височной долей, в пределах латеральной затылочно‑височной борозды (см. рис. 2.2). Лоран Коэн и я предложили называть ее *областью зрительной формы слова* – термин, ставший стандартным в научной литературе и подчеркивающий ее важнейшую роль в визуальном анализе букв и слов[[114]](#footnote-114). Оба термина достаточно длинные и сложные, поэтому в нашей книге я буду называть ее просто – «буквенная касса» мозга. Хотя этот вариант звучит менее научно, он превосходно отражает главную функцию этой зоны: она занимается буквами! Как мы скоро убедимся, **«буквенная касса» действительно играет решающую роль в быстрой идентификации буквенной цепочки и ее передаче в высшие области, вычисляющие произношение и смысл**.

В отличие от Дежерина, мы полагаем, что зрительное распознавание букв главным образом происходит не в угловой извилине в верхней задней части мозга, а в области «буквенной кассы», которая расположена ниже. Ошибку Дежерина, вероятно, можно объяснить довольно необычными повреждениями у месье К. В отличие от большинства пациентов с чистой алексией, область «буквенной кассы» месье К., вероятно, была не полностью уничтожена, а лишь отключена, как предположил сам Дежерин. Он ошибся только в расположении отсоединенной зоны, которая на самом деле лежит в вентральной части зрительной системы, а не в дорсальной области угловой извилины.

Сегодня мы знаем, что существует по крайней мере три причины нарушения нормального функционирования области зрительной формы слова[[115]](#footnote-115). Самый простой случай – это полное уничтожение в результате прямого поражения. Кроме того, эта область может быть отключена от остального мозга за счет повреждения восходящих связей и тем самым лишена зрительного входа, как в случае месье К. Причиной также может являться поражение нисходящих связей, в результате чего передача исходящих сообщений другим отделам становится невозможной. И в том и в другом случае последствия одинаковы: пациент теряет способность распознать написанные слова.



**Рис. 2.2.** На смену классической неврологической модели чтения (вверху) пришла параллельная модель (внизу). Левая затылочно‑височная область «буквенной кассы» идентифицирует визуальную форму слов, после чего передает эту зрительную информацию другим центрам левого полушария, кодирующим значение, звуковой паттерн и артикуляцию. Все области, выделенные зеленым и оранжевым, не являются специфичными для чтения: в основном они задействованы в обработке устной речи. Следовательно, овладение навыком чтения заключается в развитии эффективных взаимосвязей между зрительными и речевыми областями. Все связи являются двунаправленными. Их детальная организация пока изучена не до конца – по всей вероятности, связи между различными участками коры устроены гораздо сложнее, чем показано на этом рисунке.

Дежерин ошибался и в другом, более фундаментальном, вопросе. Он сильно недооценил общую сложность структуры мозга для чтения. Дежерин и многие другие ученые после него, в частности гарвардский невролог Норман Гешвинд[[116]](#footnote-116), рассматривали обработку информации как простую цепочку последовательных операций. Они утверждали, что написанные слова поступают в затылочный полюс в виде визуальных паттернов, а затем отправляются в угловую извилину, где вступают в контакт со зрительными образами слов. После этого активация распространяется на область Вернике, где хранятся слуховые модели слов, затем на зону Брока, где извлекаются артикуляционные паттерны, и, наконец, на моторную кору, которая управляет мышцами. Такая последовательная схема напоминала конвейер на заводе и имела очевидный налет механистических аналогий XIX века, сравнивавших мозговую функцию с распространением электричества или работой паровой машины. Конечно, существовала прямая связь между первыми неврологическими моделями функционирования мозга и гидравлическими схемами, использованными Рене Декартом для описания рефлексов как «животных духов», циркулирующих в теле по особым трубкам. Рефлекторная дуга оставалась доминирующей метафорой для нескольких поколений ученых и философов.

Разумеется, нельзя винить Дежерина в том, что он не сумел предвидеть результаты целого столетия психологических и неврологических исследований. Сегодня на смену последовательной схеме пришла параллельная модель, в которой несколько функций реализуются одновременно. Попытавшись запрограммировать визуальное распознавание форм на компьютере, мы поняли, что зрение – сложный процесс, который нельзя свести к простой цепочке мозговых «образов». Для распознавания одного символа требуется несколько изощренных операций. А ведь зрительный анализ – это только первый шаг в чтении. Затем необходимо сопоставить множество отдельных репрезентаций: корни слов, их значения, звуковые паттерны, моторные схемы их артикуляции. Каждая из этих операций предполагает одновременную активацию нескольких областей коры, но их связи не организованы в линейные цепи. Все отделы мозга работают одновременно и в тандеме, а их сигналы постоянно пересекаются друг с другом. Все связи являются двунаправленными: как только область А подключается к области Б, автоматически возникает обратная проекция от Б до А.

На основе этих базовых анатомических принципов я составил новую схему того, как может выглядеть мозг читателя (рис. 2.2). Все области на этом рисунке задействованы в чтении слов. Конечно, мой эскиз следует рассматривать как предварительный, так как он слишком прост и, по всей вероятности, не отражает многие важные области и связи. В отличие от схемы Дежерина, иллюстрирующей последовательное представление об организации мозга, в моей модели несколько зон мозга могут быть активны одновременно. Точное влияние каждой из них обсуждается до сих пор. Хотя в нашем распоряжении имеется целый арсенал инструментов визуализации, определить конкретные функции каждой области сложно: все они работают параллельно и взаимодействуют на больших скоростях. В отличие от Дежерина, мы не можем просто «поместить» зрительные, слуховые и моторные образы в разные места на поверхности мозга. Безусловно, мы располагаем более точными представлениями о функционировании коры, но это только усложняет задачу нейропсихолога и заставляет задаться вопросом: наступит ли тот день, когда мы достигнем интуитивного понимания столь сложного устройства?

Неизвестно, смогут ли ученые до конца постичь мозг читателя. Пока можно сказать одно: за последнее время наше понимание организации нейронных сетей, отвечающих за чтение, в особенности «буквенной кассы», однозначно продвинулось вперед. Теперь мы знаем, что эта область зрительного ввода представляет собой воронку, через которую проходит вся визуальная информация о написанных словах, прежде чем распределиться по множеству центров левого полушария. Такая стратегическая позиция объясняет, почему повреждение этой области приводит, как в случае месье К., к полной утрате способности обрабатывать письменные слова. Но каковы же принципы, которые позволяют ей функционировать?

### Расшифровка читающего мозга

За последние 20 лет методы функциональной визуализации произвели настоящую революцию в изучении коры человеческого мозга, позволив нам буквально «читать в мозге». Благодаря им мы можем увидеть мозговую активность в тот самый момент, когда человек выполняет некую мыслительную операцию – например, читает. Во многих отношениях нейровизуализационые эксперименты гораздо проще и надежнее, чем изучение данных о повреждениях. Кто может сказать, в какой степени мозг реорганизуется после травмы? Инсульт, например, может привести к нарушению областей, расположенных на достаточном удалении от первичного очага поражения. Обычно в течение следующих нескольких недель наблюдается масштабная перестройка церебральной деятельности: больной пытается восстановить утраченные функции с помощью нейронных цепей, которые никогда не используются для подобных задач здоровым мозгом. Наконец, инсульт непредсказуем. Зона поражения может быть обширной и обусловленной анатомическим распределением артерий, а потому не является надежным индикатором функциональной организации здорового мозга. Если бы мы не имели возможности визуализировать нормальный человеческий мозг, наша задача была бы сродни задаче подмастерья, который пытается постичь часовое дело, изучая сломанные механизмы.

Визуализация основана на простом принципе, сформулированном еще в XVIII веке французским химиком Антуаном Лораном Лавуазье. Как и любой другой орган, мозг во время работы расходует больше энергии, чем в состоянии покоя. В своих первых исследованиях о дыхании животных[[117]](#footnote-117) (1789) Лавуазье предвосхитил то, как эта простая идея может быть применена к измерению мозговой активности:

Данный метод наблюдения приводит к сравнению между собою таких применений силы, между которыми, казалось, нет никакой связи. Можно оценить, например, сколько фунтов веса соответствует усилиям человека, который произносит речь, или музыканта, играющего на инструменте. Можно было бы даже оценить то, что составляет механическую часть в труде размышляющего философа, пишущего литератора, композитора, сочиняющего музыку. Указанные явления, рассматриваемые обычно как чисто духовные, имеют нечто физическое и материальное, что и позволяет в этом отношении сравнивать их с тем, что выполняет чернорабочий[[118]](#footnote-118).

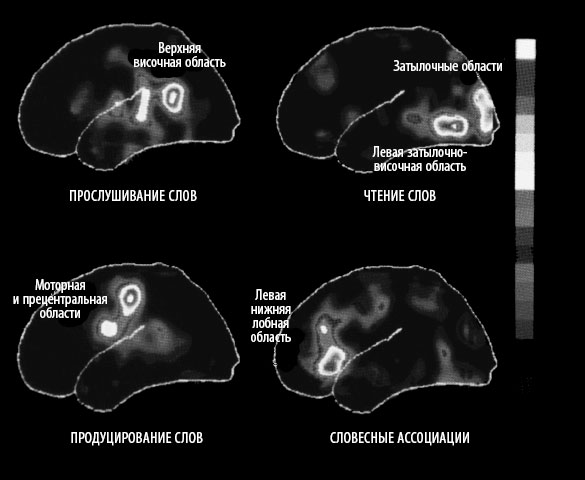
Пройдет 200 лет, прежде чем эта простая идея будет воплощена в жизнь. В 1988 году Стив Питерсен, Майкл Познер, Маркус Райхле и их коллеги первыми визуализировали области мозга, которые потребляют энергию во время чтения[[119]](#footnote-119). Для выявления функциональной организации речевых центров они использовали позитронно‑эмиссионную томографию (ПЭТ). Лавуазье никак не мог предвидеть того своеобразного сочетания психологии и ядерной физики, на котором основан этот метод. Испытуемым вводят небольшое количество радиоактивной воды, в которой стандартный атом кислорода (16O) заменен кислородом 15. Кровь приносит радиоактивные метки в мозг, где клетки поглощают кислород из крови. Чем выше нейронная активность, тем больше радиоактивного вещества накопится в этой зоне. В результате локальные пики радиоактивности непосредственно отражают «горячие точки» мозга.

Через несколько десятков секунд атомы кислорода 15 самопроизвольно возвращаются в свое стабильное состояние (кислород 16), испуская позитрон – элементарную частицу, зеркальную копию электрона. Когда позитрон сталкивается с электроном, они превращаются в два высокоэнергетических фотона. Именно эти частицы света, разлетающиеся в противоположных направлениях, обнаруживает сканер. Кристаллы вокруг головы испытуемого передают эту информацию в мощный компьютер, и тот реконструирует место, где произошел распад. В итоге мы получаем трехмерное изображение, на котором показано точное распределение энергии, потребляемой мозгом. Отсюда сам термин «томография», образованный от греческих слов *tomos* («срез») и *graphein* («рисунок»).

Что касается психологии, то и здесь Питерсен и его коллеги ввели некоторые новшества. Так, во время сканирования испытуемые должны были выполнять ряд постепенно усложняющихся задач. Сначала ученые делали снимки мозга в состоянии покоя, когда человек не был возбужден и не думал ни о чем конкретном. На втором этапе они замеряли нейронную активность во время повторения слов – напечатанных или произнесенных вслух. На третьем этапе испытуемых просили назвать глагол, связанный с каждым из представленных слов (например, «есть» или «кушать» для стимульного слова «торт»), и замеряли нейронную активность в процессе генерирования вербальных ассоциаций.

Питерсен и его коллеги надеялись, что таким образом им удастся идентифицировать области мозга, последовательно задействованные в зрительном и слуховом распознавании слов, артикуляции и мысленном управлении смыслами.

Снимки, полученные в ходе этого эксперимента, оказались настолько впечатляющими, что вскоре появились на первых полосах газет по всему миру и стали неотъемлемой частью науки о мозге. Впервые в истории были сфотографированы области живого человеческого мозга, отвечающие за речь (рис. 2.3)! Хотя позже эти изображения пришлось подкорректировать, все ключевые наблюдения были воспроизведены в рамках других исследований. Всякий раз, когда испытуемые смотрели на написанные слова, «загоралась» зрительная область, расположенная на затылке. Выраженная активность наблюдалась и на границе между затылочной и височной долями в левом полушарии. Этот небольшой участок в точности совпадал с областью, которую мы называем «буквенная касса». Звук произносимого слова не возбуждал ни одну из этих зон, зато вызывал активность в верхней и средней височной коре, отвечающих за обработку слуховых сигналов и устной речи. Произнесение слова вслух стимулировало участок в переднем отделе левого полушария, в непосредственной близости от области речепроизводства, открытой французским неврологом Полем Брока в XIX веке, а также левую и правую моторные области. Наконец, семантические ассоциации требовали мобилизации левой нижней префронтальной коры, часто ассоциируемой с творческим мышлением.



**Рис. 2.3.** Эпохальный снимок: речевые области мозга, впервые выявленные в ходе ПЭТ‑сканирования (по материалам статьи Petersen et al., 1989; изображение любезно предоставлено Маркусом Райхле). Беззвучное чтение (вверху справа) запускает процессы зрительного распознавания слов в задней части левого полушария. В зависимости от поставленной задачи информация затем передается в области, кодирующие речевые звуки (вверху слева), речепроизводство (внизу слева) или управление смыслами (внизу справа). *Использовано с разрешения Майка Познера и Маркуса Райхле.*

Из всех этих зон только одна, левая затылочно‑височная область, по‑видимому, играла центральную роль в чтении. Удивительно, но ее локализация в точности совпадала с зоной чистой алексии, выявленной в ходе исследований повреждений мозга. Питерсен и его коллеги заметили, что эта область активизировалась только при виде письменных слов и не относилась к системе низкоуровневых зрительных участков, реагирующих на такие визуальные паттерны, как шашечница. В результате было высказано предположение, что она служит своеобразным связующим звеном между первичными зрительными анализаторами и остальной частью речевой системы. Проще говоря, это фильтр, через который должна пройти визуальная информация, прежде чем попасть в речевые центры. Он избирательно анализирует входящие изображения на наличие букв и направляет их в другие отделы мозга, которые преобразуют их в звук и смысл.

### Универсальность чтения

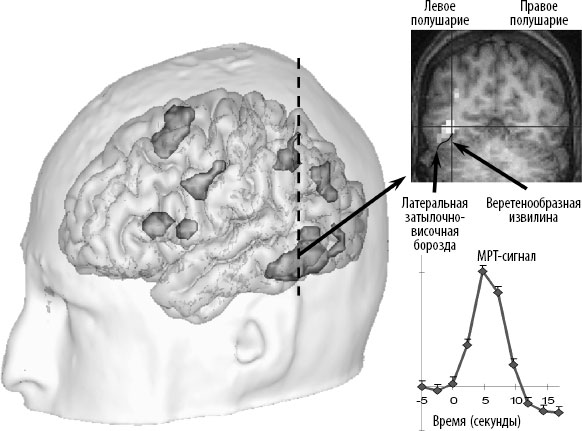
Ключевую роль, которую играет в чтении область зрительной формы слова, подтвердил и другой, более гибкий метод визуализации, в значительной степени вытеснивший ПЭТ‑сканирование. Это функциональная магнитно‑резонансная томография, или сокращенно фМРТ. По сравнению с ПЭТ, фМРТ имеет два ключевых преимущества: она доступна в любой больнице и абсолютно безвредна, поскольку не требует введения в организм радиоактивных веществ. Аппарат фМРТ регистрирует сигнал магнитного резонанса, создаваемый колебаниями уровня кислорода в крови. Клетки крови содержат большое количество гемоглобина – молекул, отвечающих за транспортацию кислорода. Грубо говоря, если молекула гемоглобина не несет кислород, она ведет себя как маленький магнит и нарушает локальное магнитное поле, тем самым ослабляя сигнал, принимаемый аппаратом фМРТ. И наоборот, молекула гемоглобина, содержащая кислород, в магнитном поле становится прозрачной. Это изменение воспринимается устройством как небольшое, но измеримое усиление резонансного сигнала.

Каким же образом колебания уровня кислорода в крови позволяют измерять активность мозга? Кровеносные сосуды и нейроны тесно связаны между собой. Всякий раз, когда активируется та или иная область, ее кровеносные сосуды расширяются, и через одну‑пять секунд она получает приток крови, насыщенной кислородом. Измеряя оксигенацию[[120]](#footnote-120) крови, фМРТ показывает, насколько увеличилась нейронная активность в предыдущие несколько секунд. Более того, она позволяет получить трехмерное изображение любой части мозга. Мой французский коллега Дени Ле Биан, один из самых известных специалистов по магнитному резонансу, сравнивает этот метод со слежкой за садовником. Не зная, где он посеял семена, мы все же можем предугадать, где они прорастут – достаточно подсмотреть, какое место он поливает каждый день. Отслеживание кровотока представляет собой косвенный, но очень чувствительный способ мониторинга работы нейронов.

Главное преимущество заключается в быстрой работе фМРТ. За одно обследование можно получить несколько тысяч последовательных изображений всего мозга с пространственным разрешением в несколько миллиметров. Функциональная МРТ делает общий снимок каждые две‑три секунды, а ПЭТ – каждые 12 минут. Как уже говорилось ранее, фМРТ необычайно чувствительна, поэтому нет никакой необходимости усреднять результаты сканирования, полученные за длительный период времени или от десятков испытуемых. Одного письменного слова достаточно, чтобы спровоцировать вспышку активности в области «буквенной кассы». Данных, собранных за несколько минут, хватит, чтобы составить точную карту интенсивной мозговой активности, вызванной письменными словами в левой вентральной зрительной коре любого человека.

Благодаря этому удивительному инструменту визуализации мы можем измерить индивидуальные вариации в нейронных сетях, отвечающих за чтение. Если проанализировать снимки мозга всех людей, прошедших сканирование, мы обнаружим, что область зрительной формы слова всегда локализована в одном и том же месте вентральной части зрительной системы. Точное расположение незначительно варьируется от одного человека к другому: детали отдельных складок коры уникальны, как уникальны два смятых листа бумаги. Тем не менее все мы имеем область «буквенной кассы», которая неизменно обнаруживается примерно в одном и том же месте.

При составлении карты коры головного мозга ученые полагаются на две системы. В рамках первой из них, разработанной на основании результатов вскрытий, собранных за 200 лет, были выявлены и обозначены основные ориентиры – своеобразные «лунные кратеры» мозга. С этой точки зрения область «буквенной кассы» всегда расположена в пределах латеральной затылочно‑височной борозды – складки, идущей вдоль всей веретенообразной извилины (рис. 2.4)[[121]](#footnote-121). Вторая система, менее зависимая от сложных анатомических ярлыков, была изобретена французским хирургом Жаном Талерашем и позднее усовершенствована исследователями Монреальского неврологического института. Это геометрическая система позиционирования, очень похожая на GPS. Она состоит из трех перпендикулярных осей, нормализованных с учетом размера мозга. В этом случае различия в расположении области «буквенной кассы» как между разными людьми, так и между разными экспериментальными лабораториями составляют не более пяти миллиметров[[122]](#footnote-122). Даже мозг китайцев и японцев, как мы увидим позже, обладает областью, отвечающей за чтение, причем находится она приблизительно там же, где и у нас[[123]](#footnote-123). Обратите внимание, что направление, в котором мы читаем (слева направо или справа налево), по всей видимости, не влияет на ее расположение в левом полушарии. **Область «буквенной кассы» локализована в определенном месте**, на краю левой затылочно‑височной борозды[[124]](#footnote-124), и **у людей, читающих слева направо, и у людей, читающих справа налево**.

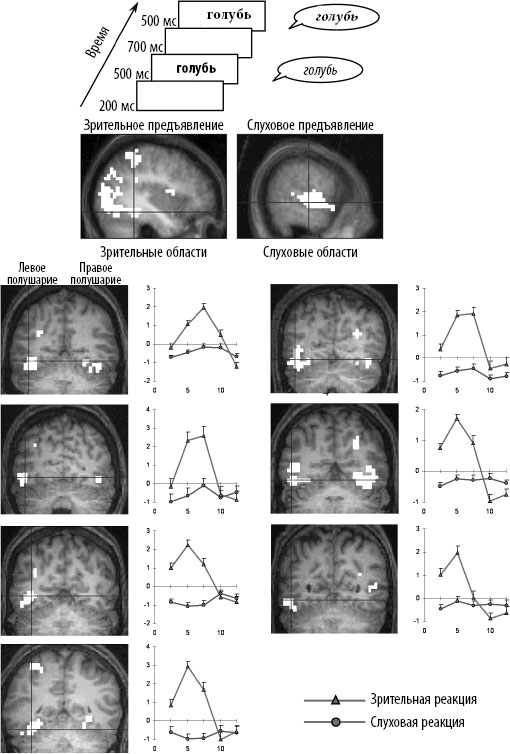


**Рис. 2.4.** Функциональная магнитно‑резонансная томография (фМРТ) позволяет всего за несколько минут локализовать участки мозга, участвующие в чтении. Участники эксперимента читали слова, предъявляемые с произвольными интервалами. После каждого слова в областях, задействованных в чтении, наблюдалось характерное усиление МР‑сигнала, достигавшего пика примерно через пять секунд. Активная сеть варьируется в зависимости от конкретной задачи и характера контрольного состояния. Тем не менее она всегда включает в себя область зрительной формы слова («буквенной кассы» мозга). Она локализована в левой латеральной области затылочно‑височной борозды, рядом с веретенообразной извилиной.

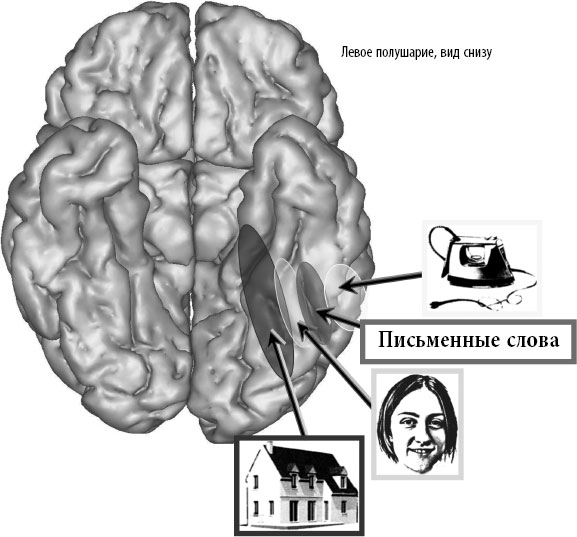
Тот факт, что у всех людей «буквенная касса» расположена идентично, может показаться странным. Чтение – это когнитивная, социальная и культурная деятельность, насчитывающая 5000 лет. Ее поверхностные формы, конечно же, отличаются от одной культуры к другой. Точно так же варьируются и индивидуальные навыки чтения – все зависит от того, как именно человек учился читать. Некоторые часами бормотали слоги, соединяя звуки с буквами; другие занимались по системе Монтессори и щупали шершавые буквы; третьи мучились с так называемым методом целых слов. Удивительно, но, несмотря на столь существенные различия, за распознавание письменной речи у всех нас отвечает одна и та же область.

### Мозаика зрительных предпочтений

Функциональные свойства области «буквенной кассы» тоже стабильны. На рис. 2.5 приведены снимки мозга семи человек, демонстрирующие избирательное возбуждение в ответ на письменные слова и отсутствие активности в ответ на их устную форму[[125]](#footnote-125). Это явление, отмеченное еще Стивом Питерсеном и его коллегами в исследовании 1998 года, свидетельствует о том, что в большинстве случаев «буквенная касса» не реагирует на устную речь. Следовательно, можно считать, что ее «интересует» только письменное слово. Впрочем, из этого правила есть одно исключение – мысленное проговаривание слов по буквам. Например, испытуемых можно спросить, содержит ли произнесенное слово нисходящую букву, такую как «р» или «у» (нисходящие буквы – это буквы, элементы которых выходят за нижнюю границу строки). В таких случаях в области «буквенной кассы» регистрируется умеренная активность – человек мысленно представляет, как это слово пишется[[126]](#footnote-126). То же самое происходит, когда носителей японского языка просят представить написание слова в уме[[127]](#footnote-127). Наконец, если предложить испытуемым сосредоточиться на разнице между двумя похожими словами, например «дом» и «том», область «буквенной кассы» тоже вспыхнет – вероятно, потому, что доступ к буквам «д» и «т» облегчает различение звуков[[128]](#footnote-128). Очевидно, все эти задачи требуют нисходящего доступа от звуков речи к буквам. В таких случаях сигнал, вероятно, движется по маршруту, противоположному тому, который обычно используется при чтении. За исключением этих специфических ситуаций, область «буквенной кассы» обычно реагирует лишь на письменные слова и игнорирует устные.



**Рис. 2.5.** Активацию области зрительной формы слова можно наблюдать у любого грамотного человека. Участники эксперимента видели или слышали пары слов, после чего должны были определить, разные это слова или нет. У семи испытуемых письменные слова активировали левую затылочно‑височную область («буквенную кассу» мозга). Активность регистрировалась в одном и том же месте, несмотря на вариативность моделей складчатости коры. Обратите внимание, что произнесенные слова не вызывали никакой реакции в этой зоне (по материалам статьи Dehaene et al., 2002). *Использовано с разрешения Wolters Kluwer/Lippincott, Williams & Wilkins.*

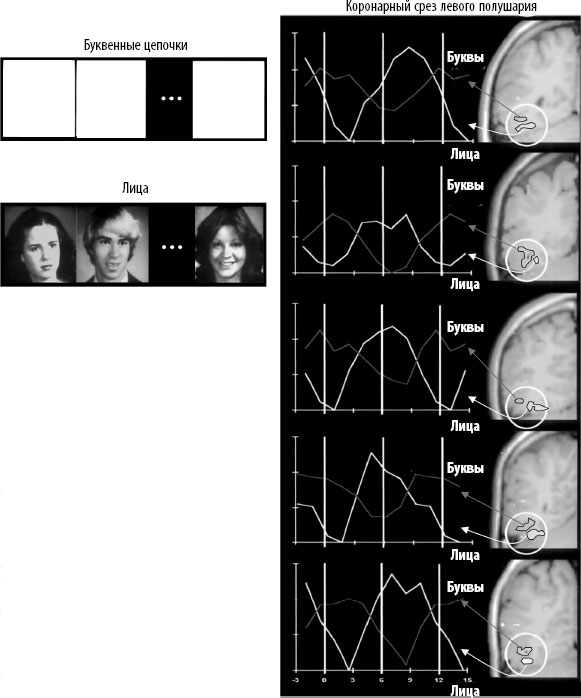


**Рис. 2.6.** Нижняя часть поверхности мозга усеяна специальными зрительными детекторами. Каждая область коры в основном реагирует только на определенную категорию объектов. Паттерн предпочтений наблюдается в одном и том же порядке у всех людей. Чтение всегда активирует область, расположенную между пиковыми реакциями на лица и предметы (по материалам статьи Ishai et al., 2000; Puce et al., 1996). *Адаптировано с разрешения Алюмиты Ишай.*

Таким образом, все данные указывают на то, что эта область отвечает за визуальный анализ. Вопрос в том, насколько она универсальна. «Буквенная касса» обрабатывает любой зрительный объект? Или же она специализируется только на чтении? Как ни странно, наш мозг является сторонником разделения труда: все визуальные объекты делятся на категории, каждую из которых обрабатывает определенный участок коры. Часть этой области предпочитает письмо широкому спектру других зрительных стимулов, и это обнаруживается у всех людей в определенном месте. Распознавание домов и пейзажей преимущественно задействует зоны, близкие к срединной линии мозга. Если двигаться в сторону, к латеральным (боковым) отделам, реакция на написанные слова сменяется откликом на лица. На краю мозга расположен сектор, в основном откликающийся на предметы и инструменты (рис. 2.6)[[129]](#footnote-129).

Нейрорадиолог Эйна Пьюс стала первым ученым, использовавшим чувствительность и высокое пространственное разрешение фМРТ для изучения зрительной «мозаики» у разных людей. Так, во время сканирования она показывала испытуемым лица и бессмысленные наборы букв, такие как «XGFST». В обоих случаях активировались две небольшие специализированные области: лица преимущественно стимулировали нижнюю часть веретенообразной извилины, в то время как слова возбуждали соседний участок в затылочно‑височной борозде (рис. 2.7)[[130]](#footnote-130). Это неожиданный результат. Если каждая область коры действительно отвечает за определенную категорию, разделение труда должно носить бессистемный характер и случайным образом меняться от одного человека к другому. Но это не так – овладение чтением, по всей видимости, является крайне стабильным процессом, который систематически направляет информацию в одни и те же «горячие» точки мозга.

С другой стороны, степень специализации зрительной коры не следует переоценивать. Хотя некоторые участки, визуализируемые в рамках грубой пространственной шкалы фМРТ, демонстрируют выраженное предпочтение стимулов определенных категорий, они реагируют не только на них. Как впервые показал Джим Хаксби и его коллеги из Национального института здоровья, наша кора вовсе не разделена на отдельные зоны с четкими границами. Скорее зрительные области, обрабатывающие разные сигналы, накладываются друг на друга[[131]](#footnote-131). Зоны, которые наиболее интенсивно реагируют на лица, откликаются и на другие категории объектов – например, слова, инструменты или животных. Однако нельзя забывать, что размер вокселя (трехмерного пикселя), визуализируемого с помощью фМРТ, составляет два‑три миллиметра с каждой стороны. По клеточным меркам это огромная площадь, охватывающая до миллиона нейронов и даже больше. По этой причине неудивительно, что не всем этим клеткам свойственны одинаковые предпочтения. При увеличении пространственного разрешения до одного миллиметра категориальная избирательность становится очевидной: некоторые участки коры реагируют исключительно на одну группу объектов, например на лица[[132]](#footnote-132). В ходе экспериментов над животными ученым удалось записать активность отдельных нейронов внутри такого участка. Данные показывают, что подавляющее большинство из них действительно откликаются на лица[[133]](#footnote-133).



**Рис. 2.7.** Визуализация мозга показывает области зрительной коры, специализирующиеся на распознавании лиц и буквенных цепочек. Показ чередующихся изображений лиц и бессмысленных наборов букв активирует разные участки левой вентральной зрительной коры. У пяти испытуемых эти области организованы одинаково – реакция на буквы всегда более латеральна, чем на лица (по материалам статьи Puce et al., 1996). *Адаптировано с разрешения Journal of Neuroscience.*

Обобщив результаты всех этих исследований, мы получим мозаику нейронов зрительной коры, каждый из которых специализируется на определенной категории форм. Нейроны с похожими предпочтениями склонны группироваться вместе, образуя так называемые кластеры. Поскольку зачастую они перемешаны с другими клетками, возникают зоны частичных предпочтений. Один участок реагирует на лица, другой – на предметы, третий – на цифры или буквы. Чтобы хоть как‑то обозначить эти зоны, ученые называют их «область лица» или «область формы слова». Хотя в подобных ярлыках, безусловно, есть своя польза, помните: все, что мы видим на самом деле, – это пиковые реакции на лица или слова, а не сами нейроны. Пики, систематически обнаруживаемые в одном и том же месте у разных испытуемых, говорят одно, но на заднем плане всегда находятся и другие менее заметные вершины. Не исключено, что они играют не менее важную роль в процессе чтения или распознавания лиц. В конечном счете каждая закодированная визуальная категория представляет собой ландшафт из долин и холмов, который покрывает нижнюю поверхность двух полушарий и свидетельствует о невероятной сложности нашей системы зрения.

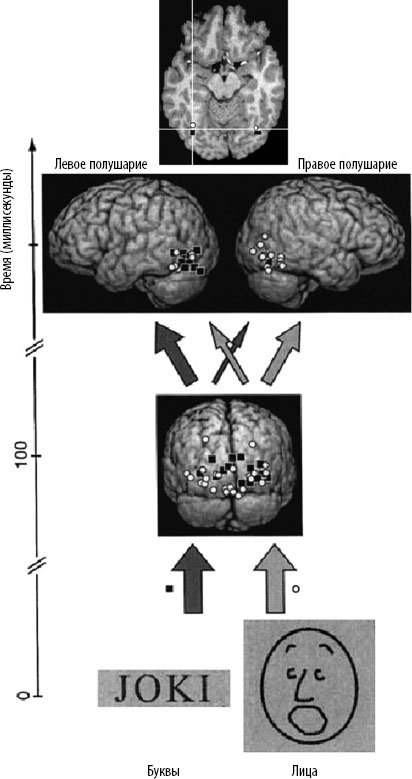
### Насколько быстро мы читаем

Слова и лица предпочитают не только разные участки коры, но и разные полушария. В распознавании слов доминирующую роль играет левое полушарие, а лиц – правое. Хотя на начальных стадиях оба полушария стимулируются одинаково, через несколько десятков миллисекунд слова перенаправляются влево, а лица – вправо. Такая латерализация является еще одной неизменной и существенной особенностью чтения.

Если бы мы полагались только на ПЭТ и фМРТ, скорость этого процесса сортировки навсегда осталась бы для нас тайной. Оба метода, основанные на измерении кровотока и оксигенации, слишком медленны для визуализации мозговой активности в реальном времени. При активации коры кровоток усиливается только через несколько секунд. Подобно астроному, анализирующему свет, излученный звездами в далеком прошлом, фМРТ позволяет видеть мозговую активность, возникшую несколько секунд назад. Такие задержки сильно ограничивают наблюдения за работой мозга.

К счастью, другие методы визуализации – в том числе электро‑ и магнитоэнцефалография – позволяют отслеживать активность мозга в реальном времени. Основной принцип можно сформулировать так: активные нейроны генерируют электрические и магнитные импульсы, которые могут быть мгновенно зафиксированы, причем даже на некотором расстоянии от самого нейрона. Благодаря дендритам нейроны собирают скачкообразные изменения напряжения, полученные от тысяч других нервных клеток. Когда множество нейронов, расположенных перпендикулярно поверхности коры, одновременно получают электрические сигналы, суммарного тока оказывается достаточно, чтобы его можно было зафиксировать снаружи черепа. Эти измерения и составляют всем известную электроэнцефалограмму (ЭЭГ).

Впервые метод ЭЭГ для изучения человеческого мозга применил Ганс Бергер в 1924 году. Он заключается в измерении напряжения, создаваемого на поверхности черепа нервными токами. Поскольку этот показатель очень мал и составляет около одной миллионной вольта, требуется чувствительный усилитель. В 1968 году Дэвид Коэн и его коллеги из Массачусетского технологического института разработали другой, более надежный, метод – магнитоэнцефалографию, или МЭГ. МЭГ обнаруживает малейшие изменения в магнитных полях, создаваемых нервными токами. Устройство должно быть особенно чувствительным, так как магнитные сигналы мозга чрезвычайно слабы и составляют порядка нескольких фемтотесл, что в миллиард раз меньше магнитного поля Земли. Хотя это весьма дорогостоящий метод исследования, его пространственная точность, намного превосходящая точность ЭЭГ, делает его бесценным для визуализации мозговой активности в режиме реального времени.



**Рис. 2.8.** Магнитоэнцефалография – это метод, позволяющий отслеживать мозговую активность миллисекунда за миллисекундой. В течение примерно 100 миллисекунд после появления изображения буквенной цепочки или лица активируются схожие паттерны активности в затылочной области. Спустя 150 миллисекунд слова направляются в «буквенную кассу» в левом полушарии, а лица возбуждают симметричную область в правой части мозга (по материалам статьи Tarkiainen, Cornelissen, & Salmelin, 2002). *Адаптировано с разрешения Oxford University Press.*

Как ЭЭГ, так и МЭГ обеспечивают отличное временное разрешение: передача электромагнитных сигналов мозга к регистрирующим их датчикам происходит практически мгновенно. В результате можно получить целую серию снимков работающего мозга. Что касается чтения, ЭЭГ и МЭГ позволили измерить **необычайную скорость, с которой мозг сортирует зрительные образы**. Антти Таркиайнен и его коллеги из Хельсинкского университета использовали МЭГ для измерения магнитной активности мозга испытуемых во время разглядывания лиц и слов (рис. 2.8)[[134]](#footnote-134). Полученные ими данные свидетельствуют о двух четких стадиях зрительной обработки в коре. На первой стадии, наблюдаемой примерно через 100 миллисекунд после попадания изображения на сетчатку, эти два типа стимулов неотличимы друг от друга: слова и лица активируют одни и те же зоны затылочного полюса. Судя по всему, эти области выполняют первичный анализ и, вероятно, извлекают из входного изображения элементарные линии, кривые и поверхности. На этом этапе мозг не распознает тип стимула, с которым он столкнулся. Спустя 50 миллисекунд запускается процесс сортировки. Теперь слова вызывают интенсивную реакцию в левом полушарии. Для лиц происходит прямо противоположное: магнитный потенциал явно преобладает на правой стороне мозга.

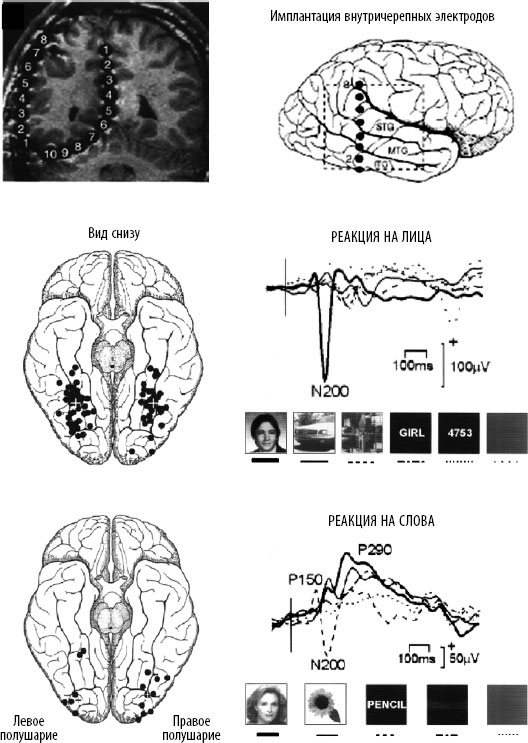
Первые стадии зрительной обработки можно записать и с помощью ЭЭГ. Они представляют собой отрицательное напряжение, которое регистрируется на затылке примерно через 170 миллисекунд. При взгляде на слова его амплитуда гораздо больше в левом полушарии, чем в правом. Компьютерная реконструкция источника этих электромагнитных волн указывает на заднюю часть затылочно‑височной извилины. Именно в этом месте мы обнаружили «буквенную кассу» с помощью функциональной МРТ. Таким образом, оба метода нейровизуализации подтверждают наше предположение о том, что эта область играет важную и специфическую роль на первых этапах зрительного распознавания слов. Затем в игру вступают специализированные системы. Предположительно, чтение и распознавание лиц предъявляют к нашей зрительной системе настолько разные требования, что общих алгоритмов обработки изображений в таких случаях недостаточно.

### Электроды в мозге

Измерение мозговой активности на внешней поверхности черепа – это прекрасно, но нейробиологи всегда мечтали проникнуть в сам мозг. Возможно ли такое исследование с этической точки зрения? Более инвазивный метод, предполагающий прямой электрический контакт с поверхностью мозга, существует давно и обеспечивает уникальную возможность подробно изучить специализацию системы, отвечающей за чтение. В этом случае электроды помещаются непосредственно на кору или глубоко в ткань головного мозга. Конечно, такой метод можно использовать только с определенными пациентами. Он никогда не применяется без веских клинических показаний и требует информированного согласия больного. Его основная цель – изучение эпилепсии. Некоторые пациенты страдают частыми приступами и не восприимчивы к противосудорожным препаратам. Их единственная надежда на улучшение своего состояния – удаление эпилептического очага (места, где зарождаются приступы). В большинстве случаев хирургическое вмешательство приводит к избавлению от них. Однако перед операцией необходимо точно определить область, подлежащую удалению. Задача состоит в том, чтобы полностью извлечь пораженные ткани, но сохранить примыкающие к ним здоровые участки.

Успешность хирургического вмешательства зависит от точности определения локализации участка, в котором зарождается эпилептическая активность. Для этого за одну или две недели перед операцией в предполагаемую область вживляют несколько десятков электродов. Непосредственный контакт с корой обеспечивает высокоточный мониторинг электрических сигналов. В современных клиниках эти сигналы оцифровываются непрерывно, и за пациентами наблюдают днем и ночью. В результате даже малейший намек на приближение приступа можно реконструировать и проследить до той области, где он возник. В промежутках между двумя припадками электроды регистрируют сигналы, по большей части возникающие в здоровой ткани. С согласия пациента и в сотрудничестве с ним они могут быть использованы для изучения реакций мозга на внешние стимулы, такие как слова или лица.

В 1990‑х годах неврологи Труэтт Эллисон, Грегори Маккарти и их коллеги из Йельского университета инициировали исследовательскую программу, в рамках которой были собраны записи внутричерепных сигналов более 100 человек[[135]](#footnote-135). Суть хирургической процедуры состояла в обертывании височных и затылочных долей полосками электродов, помещенных под защитную оболочку мозга для непосредственного контакта с поверхностью коры (рис. 2.9). Расположенные через каждые 5–10 миллиметров, эти датчики позволили получить более четкое представление о последовательных стадиях процесса чтения и подтвердили невероятную скорость нашей зрительной системы. Примерно через 180 миллисекунд после появления изображения на сетчатке глаза некоторые электроды, обращенные к вентральной поверхности затылочной и височной долей, регистрировали высокоамплитудные отрицательные волны. Как и следовало ожидать, при возникновении слов эти сигналы в основном исходили из левого полушария, а при появлении лиц – из правого.



**Рис. 2.9.** Электроды, помещенные непосредственно на поверхность мозга больных эпилепсией, позволяют визуализировать специализацию коры с исключительной пространственной и временной точностью. Спустя 150–200 миллисекунд после возникновения определенной категории стимулов электрический сигнал на некоторых электродах внезапно изменяется. Одни зоны предпочитают лица, другие – письменные слова. Объединив в стандартном анатомическом пространстве данные большого количества пациентов, мы увидим, что лица преимущественно задействуют правое полушарие, а слова – левое (по материалам статьи Allison et al., 1999). *Адаптировано с разрешения Oxford University Press и Cerebral Cortex.*

Вопросы вызывала крайняя пространственная избирательность реакции. Один электрод мог интенсивно реагировать на слова, в то время как его соседи, находившиеся всего в нескольких миллиметрах, не проявляли никакой активности. Что еще удивительнее, один и тот же электрод мог весьма энергично откликаться на слова, но игнорировать другие категории, например лица, предметы или абстрактные фигуры. Это наблюдение ясно свидетельствовало о существовании микротерриторий, посвященных исключительно словам.

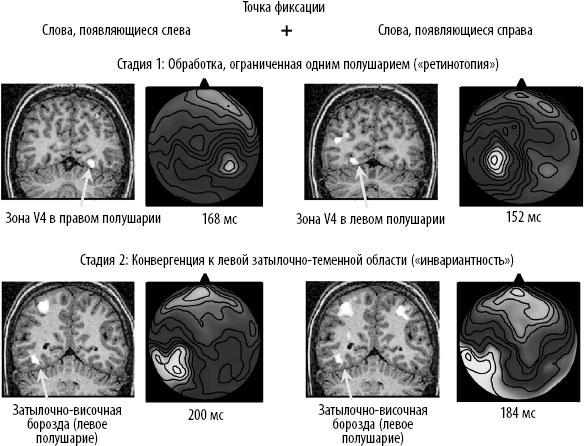
Таким образом, результаты внутричерепной регистрации сигналов хорошо согласуются с данными, полученными другими способами, включая вскрытие (как в случае с месье К.), ПЭТ‑сканирование, функциональную МРТ и методы электромагнитной визуализации. Вентральная поверхность любого человеческого мозга содержит упорядоченный набор устройств зрительного распознавания. Они настроены на различные категории изображений и расположены в определенном месте у всех людей. Так, область «буквенной кассы» всегда зажата между зонами, реагирующими на лица и предметы. Такое систематичное устройство мозаики зрительного мозга требует объяснения.

Что касается обработки лиц, Нэнси Кэнуишер, профессор когнитивной нейробиологии Массачусетского технологического института, предложила простую эволюционную гипотезу. У приматов, ведущих активную социальную жизнь, область коры, отвечающая за распознавание лиц, вероятно, развилась с течением времени[[136]](#footnote-136). Хотя в этом случае подобный дарвиновский подход кажется не столь маловероятным, никакое эволюционное влияние не может объяснить существование участков коры, предназначенных для букв и слов. Каким же образом мозг примата сумел предвидеть изобретение письменности и зарезервировать для нее целую область?

Прежде чем приподнять завесу тайны над этим парадоксом, давайте разберемся, чем на самом деле занимается «буквенная касса». Отражает ли ее активность подлинную специализацию на словах, или мы видим лишь общую реакцию на линии и кривые, которые образуют буквы? Поскольку непосредственное сравнение слов и лиц не дает однозначного ответа на этот вопрос, необходимо более пристально взглянуть на то, как именно мозг решает проблему инвариантного распознавания слов.

### Позиционная инвариантность

Как я уже упоминал выше, зрительная система обладает удивительной способностью к пространственной инвариантности. Опытный читатель может распознавать слова независимо от их расположения (при условии, конечно, что они не выходят за пределы ограниченного разрешения сетчатки). Но какая область отвечает за эту форму инвариантности восприятия? «Буквенная касса»? Эксперименты, проведенные мной и Лораном Коэном, показывают, что именно она[[137]](#footnote-137). Мы просили испытуемых непрерывно смотреть на маленькое перекрестье на мониторе, справа и слева от которого появлялись короткие слова. Как известно, зрительная информация поступает в мозг крест‑накрест: слова, появляющиеся на левой стороне экрана, проецируются на правую половину сетчатки и передаются в зрительные центры правого полушария, и наоборот. В нашем эксперименте входящая информация действительно поступала либо в одно, либо в другое полушарие. Функциональная МРТ показала, что в затылочных областях, особенно в зоне V4, активация ограничивалась левым полушарием, если слова появлялись справа, и правым полушарием, если они возникали слева. Это наблюдение подтвердила электроэнцефалография: в течение примерно 160 миллисекунд после предъявления стимульного слова потенциалы мозга регистрировались только на противоположной стороне головы (рис. 2.10).



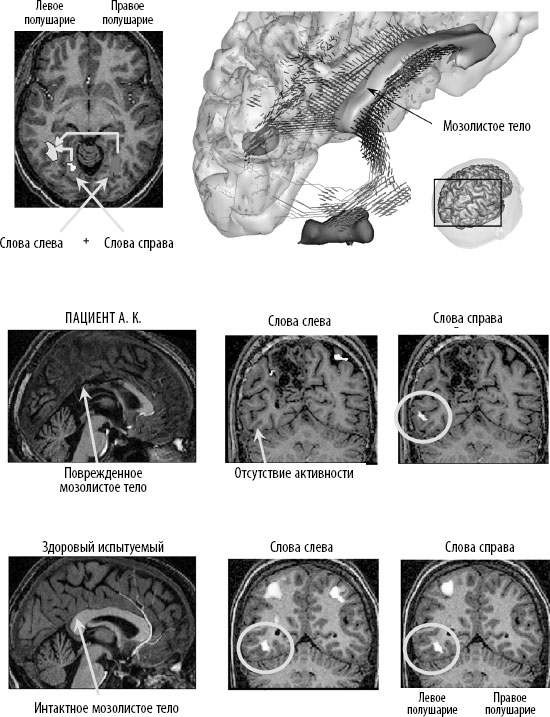
**Рис. 2.10.** Независимо от расположения на сетчатке, все слова перенаправляются к «буквенной кассе» мозга в левой затылочно‑височной коре. В этом эксперименте испытуемые смотрели на перекрестье в центре монитора, слева или справа от которого появлялись короткие слова. Примерно через 150–170 миллисекунд после возникновения слова на противоположной стороне головы возникала первая отрицательная волна, свидетельствующая об активации зрительной зоны V4, расположенной в задней части мозга. На этом этапе зрительная информация оставалась ограниченной одним полушарием. Однако на 180–200 миллисекунде на левой стороне мозга регистрировался второй отрицательный сигнал, причем возникал он вне зависимости от того, в какой половине зрительного поля появлялось стимульное слово. МРТ подтвердила близость активации к левой стороне зрительной системы (по материалам статьи Cohen et al., 2000). *Адаптировано с разрешения Oxford University Press.*

Затем паттерн мозговой активности резко менялся. Менее чем за 40 миллисекунд вся активность переключалась на левое полушарие, причем наиболее впечатляющая трансформация наблюдалась для слов, возникающих в левой половине зрительного поля. Примерно на 200‑й миллисекунде буквенные цепочки, первоначально попавшие в правое полушарие, внезапно переносились в левое и обрабатывались как слова, появляющиеся справа.

Функциональная МРТ помогла точно установить место, где зрительная информация передавалась из одного полушария в другое. Мы обнаружили, что сигналы от левой и правой половин сетчатки сходились в левой затылочно‑височной области, в том самом месте «буквенной кассы», повреждения которой приводили к нарушениям чтения. Активация этой области в левом полушарии характеризовалась одинаковыми пространственными контурами и интенсивностью независимо от того, где были представлены слова: слева или справа от центральной ямки. Иначе говоря, **пространственная инвариантность начиналась в «буквенной кассе»**. Другие эксперименты подтвердили, что именно в этой области впервые распознается повторение письменного слова сначала на одной стороне экрана, а затем на другой. Это явный признак пространственной инвариантности[[138]](#footnote-138).

Для обеспечения инвариантности информация, поступающая от обеих половин сетчатки, в результате должна попасть в левое полушарие. Перенос данных осуществляется благодаря нервным связям, соединяющим зрительные области правого полушария с зоной левой «буквенной кассы». Подавляющее большинство таких связей проходит через мозолистое тело – большой пучок нервных волокон, связывающих два полушария. Из подобной структуры вытекает довольно неожиданный прогноз: если в результате травмы или инсульта нарушается передача информации через мозолистое тело, то проблемы с чтением должны ограничиваться левой половиной зрительного поля. Слова, представленные слева, по‑прежнему будут активировать зрительные области в правом полушарии, но информация о них не сможет добраться до речевых центров левого полушария – она останется заблокированной справа. Следовательно, такой человек без труда сможет прочесть слова, которые появляются в правой части экрана, но не те, что возникают в его противоположной части.

Этот любопытный синдром «полуалексии» мы с Лораном Коэном взяли отнюдь не с потолка. Мы наблюдали это странное явление у двух пациентов с повреждениями задней части мозолистого тела[[139]](#footnote-139). На рис. 2.11 показана мозговая активность одного из них (больного А. К.), измеренная с помощью функциональной МРТ. Слова, которые появлялись справа, молодой человек читал быстро и легко, а те, что возникали слева, – с большим трудом. Он утверждал, что видит не само слово, а лишь неясные очертания. Чтобы их идентифицировать, ему требовалось более двух секунд. И действительно, МРТ показала, что слова, представленные слева, не вызывали активности в области «буквенной кассы», зато провоцировали повышенное возбуждение в других областях, таких как префронтальная кора. По всей видимости, это свидетельствовало о напряженном поиске правильного «ответа».



**Рис. 2.11**. Зрительная инвариантность частично опирается на работу мозолистого тела – крупного пучка волокон, соединяющего два полушария головного мозга. Слово, представленное слева от точки фиксации, сначала обрабатывается зрительными областями в правом полушарии, а затем передается в левое. Как показывает диффузионная МРТ, большинство волокон, связывающих эти области, проходят через мозолистое тело (вверху справа). У одного из наших пациентов (А. К.) этот тракт был поврежден. В результате межполушарная передача была прервана, и молодой человек утратил способность читать слова, возникающие слева (по материалам статьи Molko et al., 2002). *Адаптировано с разрешения Oxford University Press и The Journal of Cognitive Neuroscience.*

Вкратце, А. К. потерял анатомический путь, играющий важную роль в процессе чтения. Этот маршрут, проходящий через мозолистое тело, помогает буквам, попадающим в правое полушарие, перебраться в область «буквенной кассы» левого полушария. Однако не все так просто. Буквы, оказавшиеся в правой половине зрительного поля, имеют явное преимущество: они сразу поступают в левое полушарие, прямо в «буквенную кассу». Буквы, которые возникают слева, сначала попадают в правое полушарие. Чтобы добраться до «буквенной кассы», им нужно преодолеть несколько сантиметров проводящего пути. В результате даже здоровые люди всегда читают немного медленнее и чаще допускают ошибки, когда буквенные цепочки появляются слева от точки фиксации. Что касается распознавания слов, увеличенная длина передачи и, самое главное, сокращенный объем информации, передаваемой через мозолистое тело, дорого обходятся. Так, в человеческом мозге позиционная инвариантность является неполной: **не все зоны сетчатки одинаково эффективны при чтении**. Как и А. К., **любой человек лучше видит слова справа, чем слева**[[140]](#footnote-140).

Другой метод визуализации – так называемая диффузионная магнитно‑резонансная томография – позволил увидеть тот самый поврежденный пучок волокон, из‑за которого А. К. утратил способность читать. В своих экспериментах мы использовали модифицированную МРТ. Она помогает определить направление нервных волокон в живом человеческом мозге и работает следующим образом. Как известно, молекулы воды пребывают в постоянном хаотичном броуновском движении. Налейте себе чашечку горячего кофе. Именно броуновское движение заставляет каплю молока распределяться по всему напитку. В нашем организме молекулы воды перемещаются так же. Хитрый трюк с магнитным резонансом позволяет измерить эту диффузию[[141]](#footnote-141). Условно говоря, он состоит в двукратном намагничивании мозга в противоположных направлениях. Для неподвижных молекул намагниченность взаимно гасится, и суммарный эффект равен нулю. Движущиеся молекулы, наоборот, создают измеримый сигнал, пропорциональный скорости движения в измеряемом направлении.

Что произойдет, если измерить диффузию в разных направлениях? В жидкостях это не имеет значения – в кофе капля молока рассеивается одинаково быстро во все стороны. Однако в биологических тканях движение ограничивают клеточные мембраны. В частности, белое вещество мозга в основном состоит из пучков нервных волокон, которые действуют как трубки: молекулы воды могут свободно перемещаться вдоль их главной оси, но не поперек. В любой точке мозга направление максимальной диффузии воды подобно стрелке, указывающей на ось главных проводящих путей. Если все локальные указатели объединить с помощью мощной компьютерной программы, можно получить трехмерное изображение главных нейронных маршрутов. Это напоминает фотографирование задних фар автомобиля с очень медленной выдержкой. Именно эти приборы всегда указывают направление, в котором автомобиль движется по шоссе.

Благодаря диффузионной МРТ ученые могут получать точные данные о коннективности (связности) человеческого мозга. До изобретения этого метода отследить нервные связи было крайне трудно. Возраст единственной правдоподобной карты, имеющейся в нашем распоряжении, насчитывает более 100 лет. И составил ее… Жозефа Жюль Дежерин. Только он был достаточно квалифицирован в анатомических исследованиях и весьма настойчив, чтобы по крупицам собирать информацию в ходе вскрытий.

Сканирование мозга А. К. сразу же выявило аномалию[[142]](#footnote-142). Задняя часть его мозолистого тела и большой сегмент примыкающего к нему белого вещества не демонстрировали стандартную направленность диффузии воды. Сигнал утратил избирательность, которая обычно обнаруживается в этом месте мозга и указывает на присутствие крупного проводящего пути. Волокна, соединяющие два полушария, очевидно, были повреждены, и молекулы воды перемещались более свободно. Такая аномальная диффузия позволила проследить ход поврежденного маршрута даже в тех областях, где стандартная анатомическая МРТ выглядела нормально. Сопоставив эти снимки со снимками здорового мозга, мы получили изображение поврежденного пучка волокон (рис. 2.11). Как и следовало ожидать, нарушение охватывало зону от зрительных областей правой затылочной коры до участка, непосредственно примыкающего к «буквенной кассе», что объясняло неуверенное чтение А. К. слов, находящихся слева[[143]](#footnote-143).

Все эти примеры – наглядное доказательство силы современных методов визуализации. В лаборатории мы обычно визуализируем не только анатомию мозга, но и активность в определенных областях, ее продолжительность и даже направление нервных волокон, которые эти зоны соединяют. Диффузионная МРТ стала незаменимым инструментом в клинической неврологии. Она используется для диагностики инсультов и ряда других патологий белого вещества, таких как рассеянный склероз. Однако информация, которую она предоставляет, сугубо анатомическая. Даже если мы видим связь, МРТ не дает нам никакого представления о том, как и когда она используется. Но так будет не всегда. Последние перспективные исследования показывают, что информация о мозговой активности присутствует и в диффузионном сигнале[[144]](#footnote-144). Прогресс в этой сфере настолько стремителен, что мы можем рассчитывать на новые открытия каждый год. Вероятно, уже в самом ближайшем будущем достижения в области визуализации позволят за считаные минуты составлять карты всех нейронных цепей, отвечающих за чтение, у любого человека.

### Подпороговое чтение

Как мы только что убедились, область «буквенной кассы» распознает слова независимо от того, где они появляются. Это первая область мозга, для которой положение слова не имеет значения. Впрочем, инвариантность относительно пространственного расположения является лишь одним из фундаментальных свойств эффективного распознавания слов. Форма знаков тоже варьируется. Опытный читатель без труда идентифицирует, что «А» и «а» – это одна и та же буква в разных регистрах, и понимает, что СмЕсЬ пРоПиСнЫх И сТрОчНыХ бУкВ не меняет значения слова. Но как именно реализуется инвариантность относительно регистра? Задействует ли мозг те же области, которые отвечают за пространственную инвариантность? Происходят ли эти два процесса одновременно, или они требуют серии последовательных операций, которые опираются на разные механизмы коры головного мозга?

Чтобы ответить на эти вопросы, Тэд Полк и Марта Фарах провели простой эксперимент[[145]](#footnote-145). Во время фМРТ испытуемые читали слова, напечатанные в смешанном регистре, например «ОтЕлЬ». Измерив мозговую активность, исследователи обнаружили, что эти стимулы вызывали почти такую же реакцию, как и слова, напечатанные в одном регистре. В частности, профиль активности в области «буквенной кассы», даже при предъявлении таких причудливых стимулов, как «СлОнЕнОк»[[146]](#footnote-146), оставался совершенно нормальным. В результате Полк и Фарах заключили, что эта область содержит абстрактную репрезентацию букв и слов, а ее нейроны нечувствительны к регистру.

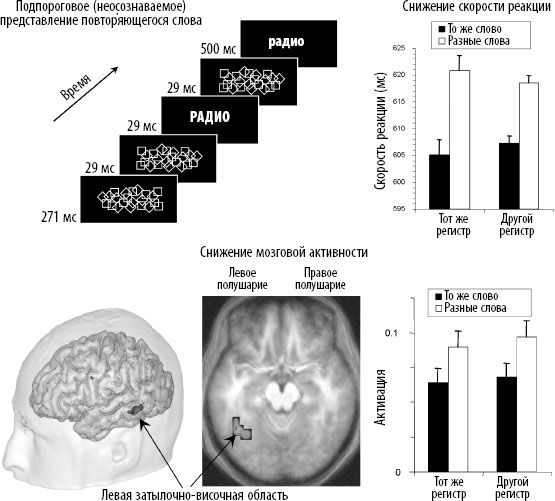
Разумеется, эти выводы не окончательные. Относительно низкое пространственное разрешение изображений мозга не позволяет увидеть, какие именно нейроны реагируют на «ОтЕлЬ», «ОТЕЛЬ» и «отель»: одни и те же или разные. Совокупная активность, вызванная этими буквенными цепочками, может быть одинаковой, а задействованные нейроны – разными. Следовательно, идентичный паттерн активации не является доказательством того, что инвариантность относительно регистра реализуется именно в этом месте.

Эта проблема могла бы показаться неразрешимой, если бы не хитрая методика, позволяющая измерить реакцию мозга на пары слов, возникающих последовательно[[147]](#footnote-147). В каждом испытании участникам показывают два стимула друг за другом. Идея состоит в том, чтобы сравнить совокупную активность, вызванную одним и тем же словом, напечатанным в верхнем и нижнем регистре (например, «отель», за которым следует «ОТЕЛЬ»), и двумя разными словами (например, «радио», за которым следует «ОТЕЛЬ»). Из результатов опытов над животными мы знаем, что нейроны очень чувствительны к повторам. Они быстро адаптируются к возобновляющимся стимулам и при предъявлении во второй раз реагируют не так интенсивно. Новый образ, напротив, провоцирует мгновенную вспышку активности. Таким образом, сигнал МРТ, который сначала гаснет, а затем усиливается, косвенно сообщает нам, что нейроны заметили повтор стимула и его последующее изменение. Манипулируя формой объекта, мы можем установить, что считается повторением для данной конкретной области. Например, определяет ли она «отель» и «ОТЕЛЬ» как одно слово или как разные?

В идеале испытуемые не должны знать, что слова повторяются. В противном случае уровень внимания существенно падает. Поскольку это ведет к ослаблению сигнала МРТ, который распространяется на связанные со вниманием области, невозможно определить, что именно он отражает: локальную перцептивную инвариантность или глобальное изменение общего состояния внимания.

В своей экспериментальной работе я всеми силами старался предотвратить сознательное восприятие повторяющихся слов. Первое слово в каждой паре всегда появляется на очень короткий срок, составляющий не более 29 миллисекунд (чуть меньше продолжительности одного кинокадра). Это стандартные условия для подпорогового восприятия. Первое слово невидимо: оно зажато между двумя бессмысленными наборами геометрических фигур. Вместо него испытуемые воспринимают лишь краткое мерцание, а затем следует второе слово – единственное, которое они видят сознательно. Контрольные эксперименты подтверждают отсутствие какой бы то ни было информации о скрытом слове.

Удивительно, но замаскированное слово активирует часть нейронных цепей, отвечающих за чтение. В частности, область «буквенной кассы» реагирует на повторы слов – в этом случае ее активность уменьшается (рис. 2.12). Примечательно, что реакция ее одинакова независимо от того, в каком регистре напечатаны слова: в одном («ОТЕЛЬ» – «ОТЕЛЬ») или в разных («отель» – «ОТЕЛЬ»). В других областях мозга такой специфический эффект не наблюдается. Например, активность отделов затылочной доли, вовлеченных в низкоуровневую зрительную обработку, снижается, когда второй визуальный стимул является точной копией первого («ОТЕЛЬ» – «ОТЕЛЬ»), но сохраняется на прежнем уровне, если меняется регистр («отель» – «ОТЕЛЬ»). По всей вероятности, они кодируют только элементарные признаки, а потому интерпретируют любое изменение как новый зрительный объект, даже если на самом деле это одно и то же слово, только в разном виде. «Буквенная касса», напротив, выполняет более абстрактную операцию: она распознает, что «а» и «А» представляют собой один и тот же стимул. Таким образом, визуализация активности мозга показывает, что эта область одновременно вычисляет как пространственную, так и регистровую инвариантность[[148]](#footnote-148).



**Рис. 2.12.** Письменные слова могут быть распознаны зрительной системой без участия сознания. В этом эксперименте первое слово предъявлялось в течение очень маленького промежутка времени (29 миллисекунд). Маскирующие фигуры, появлявшиеся непосредственно перед ним и сразу после него, делали слово невидимым. Тем не менее это неосознаваемое слово ускоряло реакцию испытуемых на его повтор, представленный позже в качестве сознательно видимой цели (вверху справа). Визуализация результатов сканирования показала, что за этот эффект подпорогового прайминга (предшествования) отвечает левая затылочно‑височная область. При повторении слова ее активность уменьшалась, причем даже в тех случаях, когда его графическая форма менялась с верхнего регистра на нижний (по материалам статьи Dehaene et al., 2001). *Адаптировано с разрешения Nature Neuroscience*.

В более поздних экспериментах ученые попытались выявить четкие стадии распознавания букв и слов. Рассмотрим слова «рост» и «трос»[[149]](#footnote-149). Эти анаграммы очень необычного типа. Они не только состоят из одних и тех же букв, но и могут быть преобразованы одна в другую перемещением всего одной буквы из начала в конец. Теперь предположим, что эти два слова мелькают на мониторе одно за другим. Чтобы исключить любое зрительное сходство на низшем уровне, первое напечатано в верхнем регистре, а второе – в нижнем («РОСТ» – «трос»). Поскольку оба они возникают с небольшим сдвигом по горизонтали, все их общие центральные буквы – «р», «о», «с» – появляются в одной и той же точке. Таким образом можно продублировать почти все буквы без представления всего слова во второй раз. Этот метод заставляет нас снова вернуться к вопросу о том, что считается повторением для «буквенной кассы». Адаптационный эффект вызывает повтор букв или всего слова целиком? Другими словами, эта область мозга реагирует только на отдельные буквы или она кодирует более крупные единицы – пары букв и даже целые слова?

Ответ – все вышеперечисленное! На самом деле процесс адаптации в области «буквенной кассы» включает несколько последовательных уровней буквенного кодирования, организованных иерархически от задней к передней части затылочно‑височной коры с постепенным возрастанием степени абстракции[[150]](#footnote-150). Низший уровень кодирует одиночные буквы. Он расположен в самом заднем секторе затылочно‑височной коры в обоих полушариях и реагирует только на повторение отдельных букв. Всякий раз, когда буквы появляются снова, наблюдается ослабление сигнала фМРТ, причем независимо от того, принадлежат они одному слову или разным. Кроме того, важно, чтобы они возникали на экране в одном и том же месте. Если сдвинуть слово всего на одну букву влево или вправо, эффект адаптации в области «буквенной кассы» не регистрируется. Это свидетельствует о том, что ее нейроны больше не распознают то, что буквы остались одинаковыми. Иначе говоря, позиционной инвариантности на данном уровне не существует. По этой причине мы полагаем, что область «буквенной кассы» содержит банк абстрактных детекторов букв, каждый из которых может заметить присутствие любой конкретной буквы в определенном месте, независимо от регистра.

Продолжим наше путешествие по левой затылочно‑височной коре. Продвинувшись на один сантиметр вперед, мы обнаружим, что кодирование слов внезапно становится более инвариантным. Здесь кора чувствительна к сходству таких слов, как «РОСТ» и «трос», хотя их буквы совпадают не полностью. Следовательно, эта область тоже кодирует единицы ниже уровня целого слова (возможно, отдельные буквы или небольшие их группы), но при этом достаточно терпимо относится к изменениям в их пространственном расположении. Она распознает, что оба слова пишутся одинаково, но составляющие их буквы расставлены по‑разному. Вполне вероятно, что именно на этом уровне наш мозг начинает кодировать морфологические формы слов[[151]](#footnote-151) – например, «нос» и «носик»[[152]](#footnote-152). Но поскольку смысл корней еще не закодирован, эта область может ошибочно приписать общий корень таким словам, как «нос» и «носить»[[153]](#footnote-153). В действительности все, что делает зрительная система на этой стадии, – это разбивает слова на составляющие их единицы. Получившееся иерархическое дерево содержит наиболее вероятные буквы, графемы, слоги и морфемы, присутствующие в буквенной цепочке.

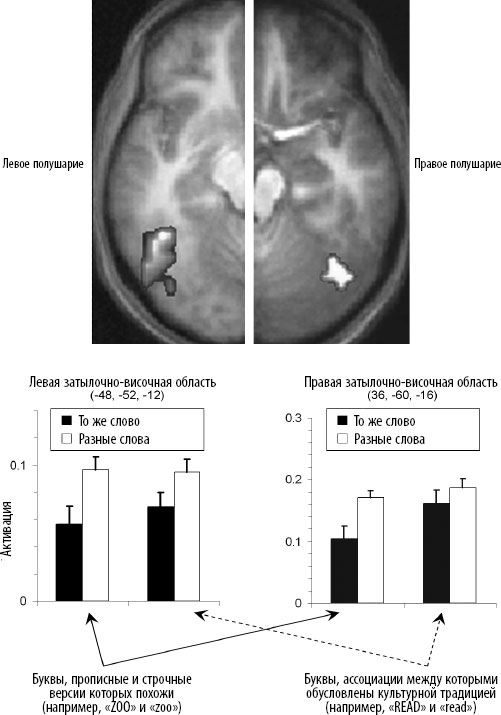
Продвинемся еще на один сантиметр вперед. Избирательность нейронного кода увеличивается. Здесь, в самой передней части «буквенной кассы», кора реагирует на все слово целиком. На этом этапе активность, как правило, уменьшается, когда слово повторяется («РОСТ», за которым следует «рост»), но сохраняется на прежнем уровне, когда те же буквы образуют другое слово («РОСТ», за которым следует «трос»). Последовательность букв кодируется как единое целое: мозг распознает большие группы букв, такие как «тро», отличающие слова «рост» и «трос» друг от друга.

Какие же выводы можно сделать из этих исследований? Во‑первых, **чтение напоминает конструктор – сборочный конвейер, на котором шаг за шагом создается уникальный нейронный код для каждого письменного слова**. Во‑вторых, сознательная рефлексия не дает представления об истинной сложности распознавания слов. Чтение – это не прямой и пассивный процесс. Он опирается на целый ряд бессознательных операций. В случаях, которые я описал выше, испытуемые даже не подозревали о наличии скрытого слова. Бесспорно, неосознаваемые буквенные цепочки могут «связываться» вместе – буквы не существуют независимо друг от друга, но образовывают устойчивые комбинации, кодирующие разницу между анаграммами типа «каприз» и «приказ»[[154]](#footnote-154). Таким образом, весь процесс зрительного распознавания слов – от обработки в сетчатке до высшего уровня абстракции и инвариантности – разворачивается менее чем за одну пятую долю секунды, без какого‑либо вмешательства сознания[[155]](#footnote-155).

### Влияние культуры на мозг

Разумеется, можно возразить, что зрительные операции, о которых мы говорили выше, не являются специфическими для чтения. Когда наш мозг распознает сходство между словами «РАДИО» и «радио», не исключено, что он просто подстраивается под размер букв. Возможно, общий зрительный процесс размерной инвариантности идентифицирует буквы «О» и «о» точно таким же образом, как мы распознаем, скажем, вилку независимо от ее размера, положения или угла, под которым мы на нее смотрим. Как же доказать, что область «буквенной кассы» действительно осуществляет операции, уникальные для чтения?

Сама по себе инвариантность относительно регистра является убедительным доказательством того, что наша зрительная система настроена на чтение. Мы так привыкли к ассоциациям между прописными и строчными буквами, что уже не замечаем, насколько они на самом деле произвольны. Всего несколько букв выглядят одинаково в верхнем и нижнем регистре («о» и «О», «и» и «И»). Остальные пары подобраны практически случайно. Ничего не обязывает букву «а» служить строчной версией «А». Мы легко можем представить себе алфавит, где строчная версия буквы «А» – это «е», а «Р» – это «г». Ассоциации между строчными и прописными буквами – традиция, которую мы принимаем, когда учимся читать. Как показывает МРТ, область «буквенной кассы» легко адаптируется к таким условностям[[156]](#footnote-156). В одном из экспериментов я показывал испытуемым слова, прописные и строчные буквы которых, за исключением размера, были очень похожи: «COUP» – «coup», «PUCK» – «puck», «ZOO» – «zoo» и так далее. Затем я добавлял к ним слова, прописные и строчные букв которых не имели ничего общего: «GET» – «get», «EAGER» – «eager», «READ» – «read» и так далее. Излишне говорить, что участники легко распознавали эти стимулы, несмотря на их разную форму. Сканирование показало, какая область мозга кодирует этот тип культурной инвариантности. Полученные результаты вновь подтвердили ключевую роль левой затылочно‑височной области «буквенной кассы». Только в этой зоне активность снижалась всякий раз, когда слова повторялись, причем независимо от того, чем были обусловлены отношения между ними: культурной традицией или зрительным сходством (рис. 2.13). Очевидно, для «буквенной кассы» «G» и «g» так же похожи, как «О» и «о» – явное доказательство того, что эта область отлично приспособилась к условностям нашего алфавита. Тот факт, что нейроны одинаково реагируют на формы «g» и «G», нельзя объяснить врожденной организацией зрительной системы. Это – результат процесса обучения, внедрившего культурную практику в соответствующие мозговые сети. В этом отношении интересно сравнить левую часть «буквенной кассы» с симметричной ей зрительной областью в правом полушарии. Последняя успешно распознает слова, которые выглядят похоже, например «Zoo» и «zoo», но абсолютно не справляется с условными ассоциациями, например «GET» и «get». Судя по всему, у большинства правшей это полушарие задействует лишь общие зрительные механизмы размерной и позиционной инвариантности. Только левая область «буквенной кассы» освоила культурные практики, уникальные для чтения.



**Рис. 2.13. Левая затылочно‑височная область «буквенной кассы» содержит культурные условности алфавита.** При повторном появлении слова ее активность уменьшается. Это означает, что она распознает слово при изменении регистра, причем даже в том случае, если строчные и прописные буквы выглядят по‑разному (например, «Е» и «е») и образуют пары только в силу культурной традиции. Симметричная область правого полушария, напротив, реагирует исключительно на зрительное сходство (по материалам статьи Dehaene et al., 2004). *Адаптировано с разрешения Psychological Science.*



**Рис. 2.14.** Левая затылочно‑височная область «буквенной кассы» учитывает орфографические закономерности родного языка читателя. Функциональная МРТ (вверху) показывает, что эта зона мозга лучше реагирует на реальные слова, чем на цепочки согласных, нарушающие правила правописания. При этом предпочтение «правильных» стимулов не зависит от места их проекции на сетчатку глаза (по материалам Cohen et al., 2002). Согласно данным магнитоэнцефалографии (внизу), эта избирательная реакция наблюдается примерно через 150 миллисекунд после появления слова на сетчатке (по материалам статьи Tarkiainen et al., 1999). *Адаптировано с разрешения Oxford University Press*.

Существуют и другие свидетельства культурной специфики «буквенной кассы». С помощью методов нейровизуализации мои коллеги и я показали, что эта область не просто с самого рождения пассивно реагирует на все, что напоминает букву или слово. Она активно адаптируется к задаче чтения, собирая статистические данные о буквах, которые часто встречаются вместе. Как оказалось, не все буквенные цепочки вызывают одинаковую реакцию. Например, эта область гораздо лучше воспринимает цепочки, образующие существующее слово, например «CABINET» или «PILAVER», чем на те, что нарушают правила орфографии, например бессмысленные наборы согласных вроде «CQBPRGT» (рис. 2.1)[[157]](#footnote-157). Кроме того, она явно предпочитает употребительные буквосочетания, такие как «WH» или «ING», редким или невозможным, например «HW» или «QNF»[[158]](#footnote-158). Однако даже допустимые комбинации букв не активируют область «буквенной кассы», если человек не умеет читать. Так, символы иврита вызывают сильную затылочно‑височную активацию у носителей этого языка, но не у людей, говорящих на английском[[159]](#footnote-159).

Месье К., первый пациент Дежерина, – великолепный пример влияния культуры. Несмотря на проблемы с чтением букв, он по‑прежнему мог читать арабские цифры. Визуально, конечно, эти стимулы очень похожи. Формы букв произвольны: мы легко можем вообразить систему письменности, в которой «52314» или «CQBPRGT» были бы словами, а «CABINET» – бессмыслицей. И все же «буквенной кассе» больше «нравятся» цепочки букв, чем цепочки цифр, такие как «52314»[[160]](#footnote-160). Следовательно, эта область определена не только зрительными стимулами, но и культурной историей нашего мозга. Когда мы учимся читать, часть зрительных нейронов адаптируется к буквам и языкам, которым нас учат. Цифры же обрабатываются в другом месте – вероятно, в задних отделах левого и правого полушарий. Как показывают записи электрических возможностей мозга, процесс культурной сортировки происходит чрезвычайно быстро. Левой затылочно‑височной области требуется всего около 150–190 миллисекунд, чтобы продемонстрировать предпочтение оформленных буквенных цепочек перед случайными комбинациями согласных или цифр[[161]](#footnote-161).

### Мозг китайских читателей

В мире существует множество самых разных видов письменности. Как подсказывает логика, подобное многообразие должно приводить к огромным расхождениям в организации мозга и паттернах активации у читателей из разных стран – особенно тех, где используются алфавитные и неалфавитные системы. Как ни странно, это не так. **Во всех культурах, несмотря на выраженные различия в поверхностной форме, письменные слова всегда обрабатываются практически идентичными нейронными сетями.** В частности, левая затылочно‑височная область «буквенной кассы» играет важную роль у всех читателей мира. Форма и внутренняя структура символов обусловливают лишь минимальные отклонения.

Рассмотрим китайский и японский языки. Долгое время казалось, что распознавание китайских иероглифов – более сложный процесс, нежели декодирование латинского алфавита. Предполагалось, что китайские читатели преимущественно опираются на правополушарную зрительную систему, которая считается более «целостной». Современные нейровизуализационные исследования опровергли эту гипотезу. При сканировании китайских читателей была установлена активация *левой* затылочно‑височной области – зона, по существу идентичная «буквенной кассе»[[162]](#footnote-162). Удивительно, но, несмотря на множество отличий (географическое расстояние, методы визуализации, морфология мозга, педагогические стратегии и система письменности), область, отвечающая за распознавание слов у китайских читателей, находится всего в нескольких миллиметрах от зоны, отвечающей за этот же процесс у англичан.

Люди, бегло читающие и латинские буквы, и китайские иероглифы, предоставляют ученым уникальную возможность изучить универсальность зрительного распознавания слов в одном и том же мозге. В 1970‑х годах Китай внедрил официальную систему транскрипции для китайского языка. Она называется пиньинь (буквально – «запись звуков»). Она включает 26 букв латинского алфавита и ряд графем, таких как «zh», «ch» и «ang». Слово «банк», например, транскрибируется как «yínháng». Китайские дети часто осваивают пиньинь до того, как их начинают обучать традиционным китайским иероглифам, а потому многие молодые люди фактически оказываются билингвами, а точнее «биграфами» – в их распоряжении имеются две разные зрительные точки входа в один и тот же устный язык. Однако визуализация мозга показывает, что области, активируемые этими двумя системами письма, почти полностью перекрываются в левой вентральной височной коре[[163]](#footnote-163).

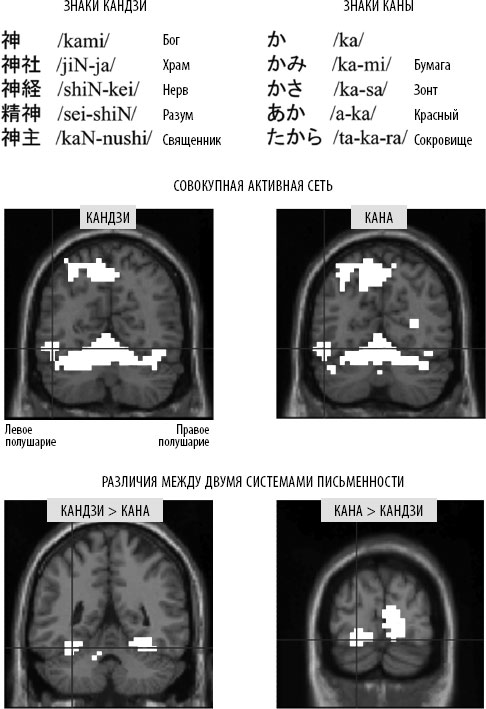
Что касается функциональных свойств «буквенной кассы» у людей, владеющих китайскими иероглифами, и тех, чей родной алфавит – латинский, то и они почти ничем не отличаются друг от друга. Так, «буквенная касса» человека, читающего по‑китайски, явно предпочитает правильные китайские иероглифы визуально похожим бессмысленным фигурам[[164]](#footnote-164). Это свойство аналогично более интенсивной реакции на слова, а не на цепочки согласных, наблюдаемой у индивида, владеющего латинским алфавитом. Это свидетельствует об адаптации этой области к ограничениям китайской письменности. Вместо букв «буквенная касса» китайского читателя должна содержать иерархию детекторов, настроенных на семантические и фонетические маркеры, которые составляют внутреннюю структуру китайских символов.

На самом деле мне известно очень мало исследований, подтверждающих идею целостного («холистического») распознавания китайских иероглифов. Результаты экспериментов показывают, что иероглифы, как и цепочки букв, кодируются в виде иерархической пирамиды зрительных признаков. В пользу этого вывода говорит эффект прайминга: фрагмент облегчает распознавание всего китайского иероглифа точно так же, как морфема – распознавание английского слова (например, слово «hunt» [ «охота»], за которым следует «hunter» [ «охотник»])[[165]](#footnote-165).

### Японский язык и его две системы письменности

Я и мой коллега Кимихиро Накамура подробно изучили, как происходит процесс чтения у японцев[[166]](#footnote-166). Если вы откроете любую японскую газету, то увидите забавное смешение знаков (рис. 2.15). Многие из них относятся к системе кандзи, содержащей более 3000 иероглифов, заимствованных из китайского языка и обозначающих слова и их корни. Другие представляют собой знаки каны – японской слоговой азбуки из 46 символов, которые передают слоги и позволяют транскрибировать любую последовательность звуков японской речи. Если многие существительные одинаково часто пишутся и на кандзи, и на кане, то большинство служебных слов, окончаний глаголов, прилагательных и наречий – только на кане. В результате глаголы, транскрибированные с использованием смеси кандзи и каны, – обычное явление.

Несмотря на эти сложные правила, сканирование мозга японских читателей показывает, что зрительное распознавание кандзи и каны тоже опирается на левую затылочно‑височную область (рис. 2.15). В обоих случаях активация латерализована[[167]](#footnote-167) в левом полушарии, а ее пик почти совпадает с местом расположения «буквенной кассы», активной у английских читателей. Более того, повреждение этой области часто вызывает чистую алексию как относительно знаков кандзи, так и символов каны[[168]](#footnote-168).



**Рис. 2.15**. Чтение японских знаков активирует область, по сути идентичную той, которая обнаружена у английских читателей. Японский язык включает две системы письма. Знаки кандзи, которые исчисляются тысячами, обозначают значения и корни слов (левая колонка), тогда как 46 символов каны кодируют слоги (правая колонка). Несмотря на эти различия, обе системы письменности задействуют левую затылочно‑височную область, причем практически ту самую ее часть, которая активируется при чтении латинского алфавита. Наблюдаются лишь незначительные расхождения: знаки кандзи больше захватывают медиальные височные области обоих полушарий, в то время как иероглифы каны вызывают повышенную активацию затылочного полюса (по материалам статьи Nakamura et al., 2005).

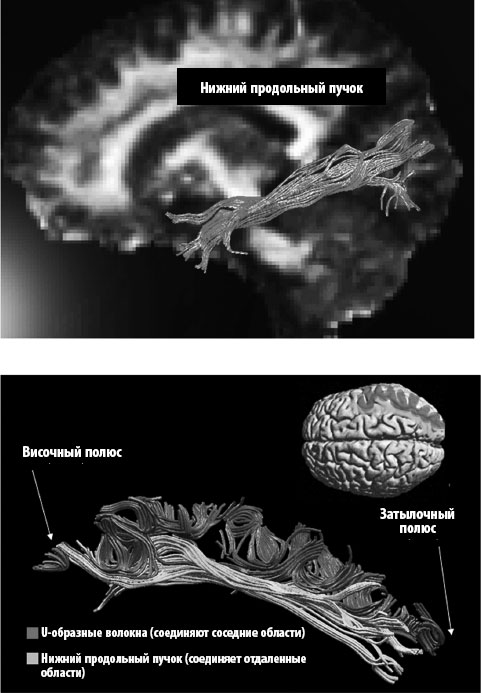
Хотя мозг реагирует на обе эти системы письменности практически одинаково, некоторые различия все же есть. В первичных зрительных областях затылочного полюса слова на кане вызывают чуть большую активность, чем слова на кандзи – возможно, потому, что многие из них состоят из нескольких знаков и, следовательно, занимают больше места на сетчатке. Слова на кандзи, в свою очередь, вызывают большую активность в маленьком билатеральном участке вентральной части височной доли – возможно, потому, что требуют более глобального или целостного режима восприятия. Сканирование пациентов с повреждениями мозга подтверждает: сети, отвечающие за чтение на кандзи и кане, не идентичны. Например, в редких случаях инсульт приводит к утрате способности читать слова, записанные только в одной системе[[169]](#footnote-169). Таким образом, знаки каны и кандзи, по всей вероятности, обрабатываются разными микротерриториями в коре, хотя все они расположены в пределах одной и той же общей области.

В целом зрительное распознавание слов определенно опирается на универсальные мозговые механизмы. Во всех культурах за идентификацию письменных слов отвечает один и тот же участок в левой затылочной области, адаптирующий свою иерархическую структуру к требованиям каждой системы письменности.

### За пределами «буквенной кассы»

Любое увиденное нами слово проходит через область «буквенной кассы», которая играет доминирующую и универсальную роль в распознавании письменной речи. Но что происходит дальше, после разбиения слов на буквы, графемы и морфемы? Куда идет эта информация? Какие пути позволяют нам определять произношение и смысл?

Проследить основные нервные волокна, передающие информацию от зрительной системы к остальной части мозга, нам поможет анатомия. Как показывает диффузионная МРТ, разные области коры соединены крупными пучками связей. В частности, недавно был визуализирован один из важнейших таких путей – нижний продольный пучок, проходящий через всю височную долю, от ее самой задней части до переднего полюса[[170]](#footnote-170). Его анатомия говорит о том, что он собирает информацию из всех областей мозга, связанных со зрением, включая «буквенную кассу», и передает ее дальше по височной доле. Помимо него, соседние височные области последовательно соединены локальными U‑образными волокнами, создающими петли обратной связи (рис. 2.16). Все эти нервные кабели, заключенные в биологический изолятор под названием миелин, обеспечивают быструю передачу письменных слов по всей височной доле.

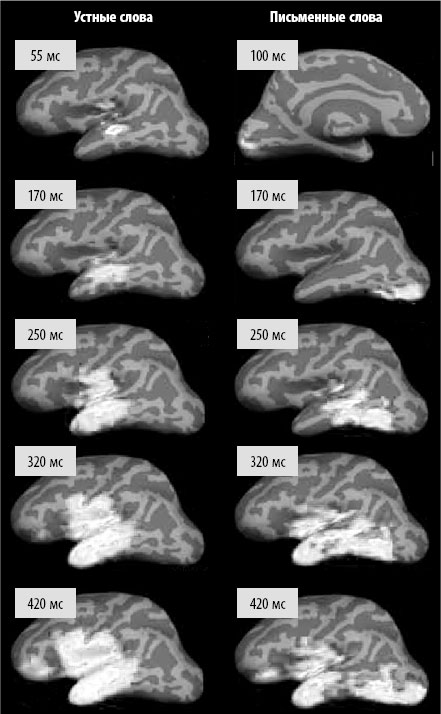


**Рис. 2.16.** Левая затылочно‑височная область, расположенная в задней части мозга, анализирует написанные слова и передает информацию в другие отделы по крупным пучкам волокон, которые можно визуализировать с помощью диффузионной МРТ. На снимке показана реконструкция длинного анатомического пути – нижнего продольного пучка, который проецируется на передний отдел височной доли. Кроме того, по всей поверхности коры проходят многочисленные U‑образные волокна, последовательно соединяющие соседние области (по материалам статьи Catani et al., 2003). *Использовано с разрешения Oxford University Press.*

Однако нельзя забывать, что методы нейровизуализации позволяют нам видеть только крупные структуры человеческого мозга, не вдаваясь в более мелкие детали. Вполне вероятно, что некоторые важные связи не так плотно «упакованы» в макроскопические пучки, а потому современная аппаратура их просто не распознает. Чтобы увидеть устройство мозга во всех его подробностях, нужен микроскоп. Патологоанатомическое исследование, проведенное анатомами из Лозанны (Швейцария), показало: нейроны вентральной части височной доли передают информацию в центры, расположенные гораздо дальше друг от друга, чем предполагали эксперименты на обезьянах[[171]](#footnote-171). Поскольку эти редкие проводники практически невидимы при магнитно‑резонансной томографии, ученые, проводившие исследование, были вынуждены ждать особого стечения обстоятельств. По чистой случайности один из их пациентов умер через три недели после инсульта, произошедшего в правой затылочно‑височной области. Анатомы обработали его мозг специальным химическим раствором, который окрасил нервные окончания, погибшие недавно. Это позволило выявить все прямые связи, исходящие из очага поражения. Оказалось, что правая зрительная область проецирует информацию на самые разные участки коры, в том числе и на левое полушарие. Хотя связи были обнаружены практически везде, их плотность достигала максимума в речевых центрах, особенно в зоне Брока (нижняя лобная кора) и области Вернике (задняя часть верхней височной коры).

Если строение мозга симметрично, можно с уверенностью утверждать, что левая затылочно‑височная область посылает сопоставимое количество проекций в оба полушария. Таким образом, краткий обзор коннективности мозга позволяет предположить, что «буквенная касса» выполняет функцию своеобразного коммутатора в сети, отвечающей за чтение. Идущие из нее волокна веером распространяются во всех направлениях и передают данные о внешнем виде слова множеству других областей одновременно.[[172]](#footnote-172)

Прямое доказательство такой параллельной передачи информации было получено Ксенией Маринкович, Андерсом Дейлом, Эриком Халгреном и их коллегами из Массачусетского технологического института. Они первыми проследили путь, который совершает письменное слово внутри мозга. Но главное – им удалось это сделать в режиме реального времени[[173]](#footnote-173). При помощи современной 204‑канальной системы исследователи измеряли крошечные магнитные поля, генерируемые синхронными разрядами множества нейронов. Они также разработали новое программное обеспечение, которое превращало эти сигналы в фильм. Таким образом ученые смогли наблюдать последовательную активацию различных участков коры, то есть основные стадии процесса чтения (рис. 2.17). Конечно, получившиеся изображения были лишь реконструкцией, а не настоящими снимками коры, но на сегодняшний день это самая реалистичная картина того, какой маршрут проходит слово в мозге.



**Рис. 2.17**. Вне зависимости от того, каким образом слово попадает в мозг (по зрительным или слуховым путям), активность охватывает одну и ту же совокупность речевых областей. Изображения, полученные с помощью магнитоэнцефалографии, представляют собой моментальные снимки задействованных участков коры спустя разное время после появления слова. Для облегчения визуализации складки коры сглажены с помощью специального компьютерного алгоритма. При чтении слов (справа) первые признаки активности регистрируются через 100 миллисекунд, на затылочном полюсе. Спустя 170 миллисекунд она распространяется на левую затылочно‑височную область, «буквенную кассу» мозга, которая извлекает зрительную форму слова. После этого «вспыхивают» височные и лобные области левого полушария, большинство из которых также участвуют в обработке устной речи (слева) (по материалам статьи Marinkovic et al., 2003). *Использовано с разрешения Neuron*.

Как и ожидалось, первым активировался затылочный полюс, участвующий в первичной зрительной обработке. Примерно через 170 миллисекунд активность смещалась в левое полушарие, непосредственно в область «буквенной кассы». Через 250 миллисекунд после появления слова «вспыхивали» и другие участки коры. Стимуляция распространялась на височные доли, активируя верхнюю, среднюю и нижнюю височные области обоих полушарий. Наконец, через 300 миллисекунд в левом полушарии «включались» височный полюс, передняя островковая доля и зона Брока. Этот паттерн активации сохранялся в течение нескольких сотен миллисекунд с дальнейшим распространением в лобные зоны и неожиданным возвратом в задние зрительные области.

На мой взгляд, самое интересное в этом эксперименте то, что примерно через 250 миллисекунд активные зоны уже не ограничивались только зрительным восприятием – все они одинаково хорошо реагировали на устное слово. Следовательно, в цепной реакции, сопровождающей чтение, «буквенная касса» – последняя область, отвечающая за исключительно визуальную обработку слова. Зрительные области, лежащие за ее пределами, работают в тесной связи с сетями, отвечающими за устную речь.

### Звук и смысл

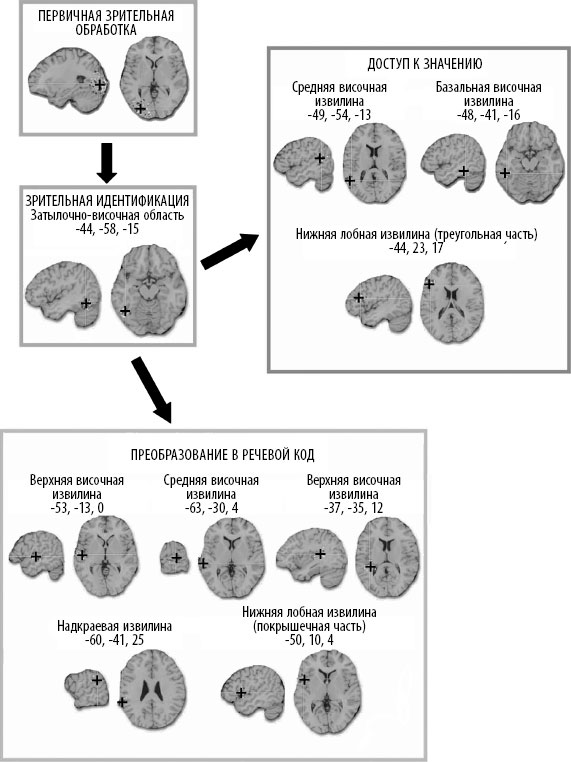
Как мы знаем из главы 1, психологи приняли двухмаршрутную модель чтения. Они утверждали, что мозг включает два параллельных пути, которые могут использоваться одновременно, в зависимости от того, что нужно прочитать:

• Редко употребляемые слова и неологизмы движутся по фонологическому пути, который преобразует буквенные цепочки в звуки речи.

• Часто используемые слова, а также те, что пишутся не так, как произносятся, распознаются с помощью ментального лексикона, обеспечивающего доступ к их идентичности и значению.

Эта теория была положена в основу целой серии нейровизуализационных исследований, в рамках которых ученые пытались установить, какие области мозга преимущественно отвечают за произношение, а какие определяют значение слова.

Для проверки этой модели можно использовать две стратегии. Первая состоит в измерении мозговой активности во время чтения буквенных цепочек разных типов. Хотя сама задача фиксирована, стимулы подобраны таким образом, чтобы задействовать один из двух путей. Например, в ходе некоторых экспериментов исследователи сравнивали чтение реальных слов, таких как «house» («дом») или «pants» («брюки»), с чтением псевдослов, например «houts» или «panse»[[174]](#footnote-174). Области, интенсивно реагирующие на настоящие слова, считаются частью лексического маршрута, а зоны, «вспыхивающие» при прочтении псевдослов, – частью прямого фонологического пути. Это логично: поскольку в непосредственном ментальном лексиконе слово «houts» отсутствует, такая буквенная цепочка может быть прочитана только посредством преобразования букв в звуки.



**Рис. 2.18.** Два маршрута чтения, обеспечивающие доступ к значению и звукам речи, задействуют разные области мозга. Повторный анализ множества экспериментов показывает, что после этапа общей зрительной обработки (вверху слева) за доступ к значению слова (вверху справа) и декодирование букв в звуки речи (внизу) отвечают два набора нейронных цепей в коре. Эти цепи переплетаются и иногда сходятся в одной анатомической области. Например, в нижней лобной коре, по‑видимому, сосуществуют отдельные области, отвечающие за определение смысла и артикуляции (по материалам статьи Jobard, Crivello, & Tzourio‑Mazoyer, 2003). *Использовано с разрешения Neuroimage.*

Ученые попытались ответить и на другие вопросы. Например, влияет ли популярность слов на активацию мозга, в результате чего малоупотребительные слова, например «секстант» или «потир», ведут себя как псевдослова и следуют по пути от букв к звуку? Различает ли мозг слова, произношение которых соответствует написанию (например, «bloom»), и слова вроде «blood»[[175]](#footnote-175), которые произносятся не так, как пишутся? Психологическая двухмаршрутная модель утверждает, что первые обрабатываются в рамках фонологического пути (от букв к звуку), тогда как вторые могут быть правильно прочитаны только после распознавания их ментальным лексиконом.

Второй метод, дополняющий первый, состоит в предъявлении человеку списка слов и различных заданий[[176]](#footnote-176), акцентирующих информацию определенного характера. Так, в одном блоке испытаний участников просят определить наличие (или отсутствие) рифмы между словами. Это фонологическая задача, требующая перехода от графем к фонемам и мысленного проговаривания звуков речи. В другой серии испытаний участники должны решить, являются ли два слова синонимами. Это семантическая задача, привлекающая внимание к смыслу и предполагающая доступ к ментальному лексикону. Наконец, в третьем блоке испытуемых просят определить, заканчиваются ли два слова на одни и те же буквы, независимо от того, как они произносятся (например, «napkin» и «mountain»). Это орфографическая задача. В каждом случае ожидается усиление активности в областях, кодирующих информацию в соответствующем заданию формате.

В целом оба метода дают одинаковые результаты[[177]](#footnote-177). Два маршрута чтения действительно связаны с разными областями мозга (рис. 2.18). Поэтому можно утверждать, что за звук и смысл отвечают отдельные сети. По‑видимому, нейровизуализационные исследования подтверждают психологическую модель.

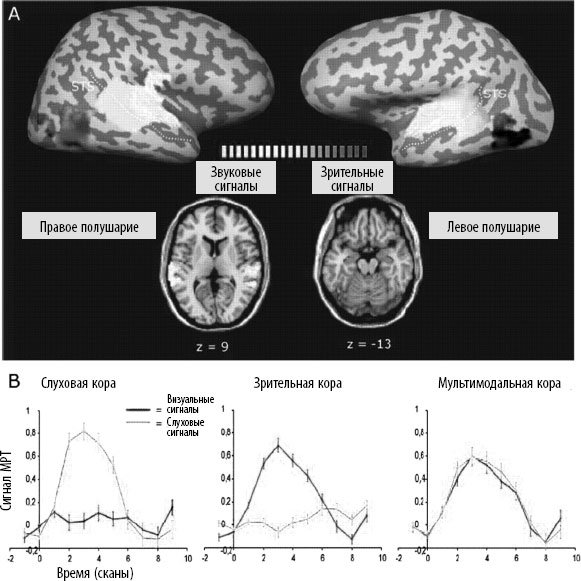
### От букв к звукам

Маршрут, используемый для преобразования букв в звуки, главным образом задействует верхние отделы левой височной доли, играющие важную роль в анализе звуков речи. Кроме того, выраженная активность наблюдается в левой нижней префронтальной и прецентральной областях коры, участвующих в артикуляции. Однако именно в верхнем отделе височной доли буквы и звуки встречаются впервые. Чтобы в этом убедиться, ученые провели простой эксперимент (рис. 2.19)[[178]](#footnote-178). Во время фМРТ испытуемые либо видели буквы, либо слышали звуки речи, либо выполняли то и другое действие одновременно. При совместном представлении буква и звук могли быть конгруэнтны (совпадающими) – например, буква «о» и звук [о] – или инкогруэнтны (несовпадающими) – например, буква «a» и звук [о]. На буквы реагировала обширная зона в верхней височной доле, а на совместимые буквы и звуки – лишь небольшая подобласть, так называемая *planum temporale*, или височная площадка. «Правильные» пары «буква – звук» вызывали усиление ее активности, а конфликт между ними – ослабление. Благодаря магнитоэнцефалографии исследователи смогли точно установить время, которое на это требуется. Преобразование буквы в звук начинается через 225 миллисекунд после появления буквы на сетчатке, а ее совместимость с произносимым звуком распознается примерно через 400 миллисекунд[[179]](#footnote-179).

Сразу несколько признаков указывают на то, что ***planum temporale* является одной из важнейших областей для декодирования речи**. Она асимметрична: большая часть ее поверхности расположена в левом полушарии. Многие исследователи рассматривают такое анатомическое строение как одну из вероятных причин латерализации речи в левом полушарии. Еще до рождения человека левая *planum temporale* является больше правой; в течение первых нескольких месяцев жизни мозг младенца асимметрично активируется в ответ на звуки речи[[180]](#footnote-180). В детстве эта область быстро учится обрабатывать релевантные речевые звуки и игнорировать ненужные[[181]](#footnote-181). Например, японцы не слышат разницу между [р] и [л], поскольку в их языке эти звуки не используются для различения слов. Такая своеобразная форма «лингвистической глухоты» зарождается в левой *planum temporale* и соседних областях, которые к концу первого года жизни окончательно теряют способность различать [р] от [л].

Будучи местом встречи зрительных и слуховых сигналов, *planum temporale*, несомненно, играет важную роль в формировании навыка чтения. Действительно, она идеально приспособлена для заучивания соответствий между буквами и звуками.

Когда ребенок учится декодировать буквы «б» и «а» в звук [ба], его *planum temporale* одновременно воспринимает и буквы, и речевые сигналы, а потому легко может установить контакт между ними. В дальнейшем связь между графемами и фонемами приобретает автоматический характер. Фактически этот процесс становится машинальным настолько, что буква «а» в паре с «неправильным» звуком [о] заставляет верхний отдел височной коры подавать сигнал о несоответствии.



**Рис. 2.19.** Верхняя часть височной области вносит важный вклад в преобразование букв в звуки. Нейровизуализация позволяет разграничить зрительные области, реагирующие на буквы, и слуховые области, которые активируются в ответ на звуки речи. Часть верхней височной коры (показана белым) мультимодальная. Это означает, что она отвечает как на звуковые, так и на зрительные сигналы. В пределах этих областей более мелкие секторы чувствительны к соответствию между буквой и звуком, сопровождающим ее (по материалам статьи van Atteveldt et al., 2004). *Адаптировано с разрешения Neuron.*

Точные пути, используемые для преобразования букв в звуки, пока изучены не до конца. В случае одной буквы верхняя часть височной доли, вероятно, получает информацию непосредственно из первичных зрительных областей. Цепочка букв требует более сложной обработки, включающей разбиение на графемы и слоги. Подобный процесс носит последовательный характер и, вероятно, задействует нижнюю часть теменной области, расположенную прямо над *planum temporale*[[182]](#footnote-182). Эта область, вместе с зоной Брока, создает фонологический контур, который активируется всякий раз, когда мы повторяем что‑то мысленно. Он принадлежит к артикуляционной или фонологической петле, отвечающей за сохранение информации (скажем, телефонного номера) в вербальной памяти[[183]](#footnote-183). По всей видимости, этот буфер необходим для произношения длинных слов – например, для расшифровки такой фармацевтической формулы, как *ацетилсалициловая кислота* (аспирин).

### Доступ к смыслу

Система, анализирующая значение слов, сильно отличается от той, что преобразует буквы в звуки. Семантика задействует широкий спектр областей; некоторые из них показаны на рис. 2.18. Примечательно, что ни одна из них не специализируется исключительно на письменных словах. Все они, скорее, «срабатывают» в ответ на мысли о понятиях, передаваемых устными словами[[184]](#footnote-184) или даже образами[[185]](#footnote-185). На самом деле их легко можно локализовать с помощью классического теста на ассоциации, при прохождении которого человека просят определить, какая из трех картинок лишняя – пирамида, пальма или молоток.

Некоторым из этих семантических областей присуща одна характерная особенность: они могут активироваться еще до того, как испытуемого попросят выполнить конкретное задание. Задняя височно‑теменная область, в частности, функционирует даже тогда, когда мы находимся в состоянии покоя в темноте. Как правило, она не увеличивает свою активность при прочтении письменных и устных слов, зато «деактивируется» ниже начального уровня при предъявлении бессмысленных псевдослов[[186]](#footnote-186). Почему? Как только мы просыпаемся, наш мозг мгновенно «включается» в работу и анализирует, что происходит вокруг. Поскольку данный процесс задействует семантическую сеть, манипулирующую словами и образами, многие области не отключаются даже тогда, когда мы находимся в состоянии покоя. Из‑за такой непрекращающейся фоновой работы фМРТ не имеет абсолютного нуля, который позволил бы идентифицировать активность, вызванную внешней стимуляцией. В некоторых зонах, таких как угловая извилина, чтение слов, имеющих смысл, вызывает такую же реакцию, что и непрерывный шум, а потому не приводит ни к каким дополнительным изменениям – можно подумать, будто эта область вообще не связана с чтением! Однако если стимул не наделен значением (как псевдослово «ларпик»), то спонтанная активность ненадолго ослабевает, из‑за чего аппарат фиксирует временную «деактивацию». Это явное свидетельство того, что эта область на самом деле участвует в чтении слов.

Поскольку даже в состоянии покоя уровень активности постоянно меняется, области мозга, кодирующие смысл, невозможно визуализировать непосредственно. Для их изучения требуются более тонкие экспериментальные методы. Об одном из них мы уже говорили – это метод прайминга. Возьмем слова «sofa» («софа») и «couch» («диван»). По сути они обозначают одно и то же, хотя и составлены из разных букв. Джо Девлин и его коллеги[[187]](#footnote-187) предъявляли подобные синонимы в парах: первое слово испытуемые воспринимали на скрытом уровне, а второе видели осознанно. Как оказалось, семантическое сходство распознавала только левая средняя височная область. На два синонима эта зона реагировала слабее, чем на слова с несвязанными значениями, например «honey» («мед») и «couch» («диван»). В отличие от синонимов, которые активировали ее только один раз, пара обычных слов требовала кодирования двух разных смыслов, а, значит, и более длительного периода активности. С помощью аккуратных манипуляций Девлин и его коллеги продемонстрировали существенное различие в кодировании слов средними и вентральными отделами левой височной доли. Как я уже подробно объяснял выше, вентральная область «буквенной кассы» занимается только зрительным кодированием букв. Девлин обнаружил, что ее активность снижалась всякий раз, когда слова визуально выглядели похоже («hunt» и «hunter»[[188]](#footnote-188)), причем даже в тех случаях, если их значения не имели ничего общего («horn» и «horny»[[189]](#footnote-189)). Кроме того, эта область не воспринимала тот факт, что «sofa» и «couch» означают примерно одно и то же. Это неудивительно: именно так должен вести себя участок, сконцентрированный исключительно на буквах. Левая средняя височная кора, напротив, демонстрировала выраженную чувствительность к семантически связанным парам слов, таким как «sofa»/«couch» или «hunt»/«hunter», и не попадалась в ловушку внешне похожих пар вроде «horn»/«horny».

Другие исследования подтвердили, что левая средняя височная кора действительно специализируется на значении целых слов. У японских читателей это единственная область, способная распознать одно и то же слово на кандзи и на кане, хотя знаки этих двух систем письменности визуально никак не связаны между собой[[190]](#footnote-190). То же касается и семантических отношений между услышанными словами[[191]](#footnote-191). Очевидно, эта область кодирует фрагменты значения слов, причем независимо от того, как именно человек приходит к смыслу: это может быть изображение, устное слово или написанная буквенная цепочка.

Разумеется, смысловые сети мозга не ограничиваются простой обработкой отдельных слов. Зоны, лежащие ближе к передней части височной доли, судя по всему, отвечают за значения слов в предложении[[192]](#footnote-192). Другая область, расположенная спереди от нее, в нижней лобной коре, выбирает один смысл из нескольких возможных. В частности, она срабатывает вместе с височными областями, когда мы слышим предложения, содержащие сразу несколько многозначных слов[[193]](#footnote-193), например «the shell was fired toward the tank»[[194]](#footnote-194). Только представьте, с чем приходится иметь дело этим участкам мозга, когда мы читаем такие двусмысленные газетные заголовки, как:

Некоторые вещи / фрагменты Рока Хадсона будут проданы на аукционе

Глухонемой, обвиняемый в убийстве, вновь предстанет перед судом / Глухонемой вновь обретет слух, если кого‑нибудь убьет

По словам судьи Ханг, двое преступников смогут избежать наказания / Двое преступников избежали наказания, судью повесили

Любители молока все чаще выбирают сухое молоко / Любители молока превращаются в пепел

В полдень продавцы автомобилей услышат ток‑шоу о машинах / В полдень продавцы автомобилей услышат, как машина заговорит

Сексуальное воспитание откладывается, учителям требуется тренировка / подготовка

Пеките печенье вместе с детьми / Используйте детей при выпечке печенья[[195]](#footnote-195)

Несмотря на то, что исследователям удалось определить целый ряд задействованных областей, вопрос, как на самом деле кодируется значение слова в коре мозга, по‑прежнему остается открытым. Процесс, позволяющий нейронным сетям объединяться и «обретать смысл», практически не изучен. На сегодняшний день мы знаем одно: **смысл не может быть ограничен несколькими областями и, вероятно, зависит от множества нейронов, распределенных по всей коре**. При этом лобные и височные области, отмеченные на рис. 2.18, являются лишь верхушкой айсберга. Хотя эти зоны активируются всякий раз, когда мы получаем доступ к сути слова, похоже, они не хранят само значение, а лишь облегчают доступ к семантической информации, содержащейся в других частях коры. Согласно неврологу Антонио Дамасио[[196]](#footnote-196), это своеобразные «зоны конвергенции», собирающие и посылающие сигналы в другие отделы. По всей вероятности, они объединяют разрозненные фрагменты смысла в структурированные совокупности нейронов, составляющие подлинную нейронную основу значения слова.

Возьмем глагол «кусать». Как только вы вспомните, что он означает, в вашем воображении мгновенно всплывут образы определенных частей тела (рта и зубов), их движения и даже, возможно, воспоминания о боли, вызванной укусом. Все эти фрагменты действий и ощущений объединены под единым заголовком – «кусать». Связь работает в обоих направлениях. С одной стороны, мы произносим это слово всякий раз, когда говорим о конкретной последовательности событий, а с другой – звук или вид этого слова вызывает в нашем разуме множество смыслов.

Латеральная височная область, по‑видимому, служит связующим звеном между формой слов и элементами, составляющими их значение. Эту зону можно разделить на подобласти, каждая из которых специализируется на определенной категории слов. Лица, люди, животные, инструменты, овощи – все эти категории соотносятся с частично обособленными участками мозга, собирающими фрагменты смысла из разных источников. Так, теменная доля отвечает за числа и части тела, затылочная область V4 – за цвета, область V5 – за движения, прецентральная и передняя теменные области – за действия и жесты, поле Бродмана 10 – за намерения и убеждения, височный полюс – за имена собственные.

Особую роль в изучении этого феномена играет анализ повреждений мозга. Допустим, инсульт нередко приводит к частичной потере тех или иных узкоспециализированных знаний. Некоторые больные, например, утрачивают все знания о животных. Они не узнают их на картинках[[197]](#footnote-197) и не могут ответить на такие элементарные вопросы, как: «Где живет лев? Какого цвета слон?» При этом знания во всех прочих сферах, например о глаголах, инструментах или известных людях, сохраняются. У других больных «выпадают» не животные, а какая‑то другая категория. Такие категориально‑специфические нарушения, как правило, связаны с очагами поражения, локализованными в разных местах левой височной и лобной долей[[198]](#footnote-198). Функциональная визуализация подтверждает: каждый раз, когда мы думаем о существительных или глаголах, животных или инструментах, «вспыхивают» разные области коры[[199]](#footnote-199).

Более тонкие семантические различия практически не исследованы. Недавно Фридман Пульвермюллер и его коллеги сравнили реакцию мозга на слова, которые принадлежали к глаголам действия, но имели разное содержание. Некоторые глаголы, такие как «кусать» или «целовать», вызывали движения рта, другие – рук («писать», «бросать»), третьи – ног и ступней («пинать», «ходить»)[[200]](#footnote-200). Наблюдалась удивительная фрагментация смысла: глаголы разных типов активировали разные участки премоторной коры в строгом соответствии с «моторным гомункулом», или корковой картой нашего тела. Таким образом, можно утверждать, что значение слова буквально заключено в наших мозговых сетях. Последовательность букв имеет смысл только в том случае, если в течение нескольких сотен миллисекунд вызывает множество признаков, рассеянных в сенсорных, моторных и абстрактных картах мозга.

Пытаясь связать каждое слово с его семантическими признаками, иерархические связи височной доли решают так называемую проблему моделирования смыслов. Как подчеркивает Фердинанд де Соссюр, формы и значения согласованы произвольно: любая буквенная цепочка может представлять любое понятие. Однако когда мы учим язык, эта случайность исчезает. Мы не можем не видеть животное за словом «лев» и не можем прочесть слово «жираф» как глагол – благодаря связям височной доли, каждое из этих слов закреплено за множеством нейронов, распределенных в коре и придающих ему смысл.

### Метафора приливной волны

Вероятно, самый простой способ описать то, как активация распространяется на десятки фрагментов смысла, рассеянных в мозге, – это сравнить ее с приливной волной. В некоторых реках во время прилива наблюдается любопытный феномен: дважды в день в устье скапливаются массы воды, образуя волновой фронт. При определенных условиях такая волна может пройти десятки миль вверх по течению. Соленая вода не проникает так далеко; бор – это резкое повышение уровня воды, которое синхронно распространяется по всей системе реки. Только вид с самолета или спутника может дать полную картину этого удивительного природного явления. В течение нескольких минут во всех рукавах одновременно поднимается уровень воды – только потому, что они впадают в одно и то же море.

По всей видимости, написанное или произнесенное слово активирует фрагменты смысла примерно так же, как приливная волна охватывает все речное ложе. Если вы сравните слово «молоко» с псевдословом «кромл», то единственное отличие будет заключаться в размере корковой приливной волны, которую они могут вызвать. Известное слово резонирует в сетях височных долей и генерирует поток синхронизированных колебаний, которая возбуждает миллионы нейронов. Эта приливная волна доходит даже до отдаленных областей коры, последовательно контактируя со многими ансамблями нервных клеток, каждый из которых кодирует фрагмент значения слова. Неизвестное слово, даже если оно проходит через первые стадии зрительного анализа, не находит отклика в коре, и вызванная им волна быстро распадается на бесформенную пену.[[201]](#footnote-201)

Можно ли отследить мозговую приливную волну в реальном времени? В 1995 году я продемонстрировал поразительную скорость, с которой работает лексический доступ во время чтения[[202]](#footnote-202). В ходе эксперимента я показывал испытуемым цепочки букв, одновременно записывая электроэнцефалограммы с 64 электродов. Некоторые стимулы, например «PGQLST», состояли исключительно из согласных и, следовательно, нарушали основные правила правописания английского языка. Другие образовывали слова, относящиеся к четырем категориям: числа, имена собственные, животные и глаголы действия. Отслеживая изменения напряжения на поверхности черепа каждую миллисекунду, я смог определить продолжительность двух главных этапов чтения: орфографического фильтра, который отсеивает недопустимые буквенные цепочки, и семантического фильтра, сортирующего слова в зависимости от их значения. Чтобы отделить бессмысленные цепочки согласных от настоящих слов, требовалось всего 180 миллисекунд. Топография теста показала, что эта первичная фильтрация происходит в левой затылочно‑височной области «буквенной кассы». Еще через 80 миллисекунд четыре категории слов активировали разные секторы коры. Получается, нужно всего четверть секунды, чтобы приливная волна достигла берегов смысла.

В настоящее время более продвинутые методы магнитоэнцефалографии позволяют отслеживать волну активации не только через череп, но и через саму поверхность коры. С помощью этой технологии можно снять фильм в замедленном темпе и выявить последовательность областей, с которыми контактирует слово. Панайотис Симос и его коллеги из Техасского университета проследили траектории, по которым движутся слова в коре. В ходе эксперимента участники произносили буквенные цепочки, которые относились к трем категориям:

• Псевдослова, такие как «trid» или «plosh», составленные в соответствии с орфографическими правилами английского языка. Все эти буквенные цепочки отсутствуют в ментальном лексиконе и могут быть произнесены только путем преобразования букв в звуки. Поскольку этот маршрут дает доступ к произношению без учета значения, они должны активировать верхние височные области, связанные со звуками речи, но не средние височные области, сопряженные со смыслом.

• Псевдоомофоны, такие как «hed» или «wimen», которые звучат как существующие слова, но написаны с ошибками. Как и стимулы первой группы, они требуют преобразования букв в звуки. Однако восстановленное произношение мгновенно дает доступ к смыслу. В этом случае логично ожидать, что первой «вспыхнет» верхняя височная область, после чего активность распространится на среднюю височную кору.[[203]](#footnote-203)

• Реальные слова, такие как «have» или «eye», которые часто встречаются в английском языке, но не подчиняются правилам чтения. При их появлении соответствующие области должны активироваться в обратном порядке. Чтобы восстановить произношение, слово необходимо найти в ментальном лексиконе. Следовательно, приливная волна сначала охватит зоны, отвечающие за лексику и семантику, и только затем те, что кодируют речевые звуки.[[204]](#footnote-204)

Результаты соответствовали ожиданиям. Первые 150–200 миллисекунд мозговая активность оставалась ограничена зрительной затылочной корой, после чего распространялась на левую область «буквенной кассы». До этого никаких заметных различий между тремя категориями стимулов не наблюдалось. Затем псевдослова и псевдоомофоны активировали верхнюю височную область, в том числе левую *planum temporale*, которая отвечает за репрезентацию произношения звуков речи. Иррегулярные слова активировали левую среднюю височную область, которая содержит семантическую «зону конвергенции», и только позже вызывали вторичную волну возбуждения в слуховых областях. Наконец, семантические области практически не реагировали на псевдослова, лишенные смысла, но срабатывали, хотя и с опозданием, на омофоны вроде «hed».

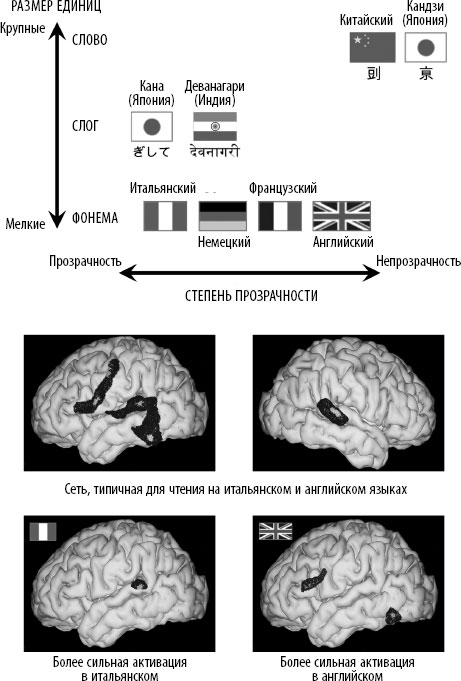
Результаты этого эксперимента прекрасно согласуются с данными огромного количества психологических исследований, посвященных чтению. Чтобы понять слово, его обязательно нужно произнести мысленно? Или же стадию проговаривания можно пропустить и перейти от буквенной цепочки сразу к ее значению? Возможно и то, и другое: все зависит от самого слова. Употребительные слова, а также те, которые пишутся не так, как произносятся, направляются прямо в лексические области средней височной доли – в эксперименте Симоса скорость ее активации служила надежным фактором скорости называния. Редкие и неизвестные слова, а также те, что произносятся так, как пишутся, испытуемые сначала проговаривают мысленно, задействуя слуховые области верхней височной доли, и лишь затем восстанавливают их значение. В эксперименте Симоса скорость называния таких слов определялась задержкой, с которой «вспыхивали» слуховые области.

### Ограничения мозга и культурное многообразие

Немного разобравшись в системе маршрутов, которые наш мозг использует для чтения, мы можем вернуться к вопросу о том, как он справляется с разными видами письменности. Многочисленные мировые системы письма характеризуются разной степенью орфографической прозрачности (рис. 2.20)[[205]](#footnote-205). Некоторые языки, такие как итальянский, обладают понятной системой правописания с простыми правилами и минимальным количеством исключений: если вы знаете, как произносятся буквы, то можете прочитать любое итальянское слово или псевдослово. Другие языки менее прозрачны. В английском, например, одна и та же буквенная цепочка «ough» читается по‑разному в словах «tough» [tʌf] и «though» [ðəu]. В подобных языках правил конверсии недостаточно. Чтобы читать написанные слова вслух, необходимо обладать обширным лексиконом. Без него восстановление произношения слова невозможно. Правила преобразования букв в звуки, конечно, существуют, однако бесчисленные исключения требуют постоянного обращения к лексической памяти.

Китайский и японский языки, очевидно, расположены на другом конце шкалы орфографической прозрачности. Носители этих языков вынуждены запоминать тысячи знаков (для ежедневного чтения достаточно около 7000 китайских иероглифов, хотя в литературе используется до 40 000). Каждый из них должен быть соотнесен с определенным устным словом. Эти соответствия не всегда произвольны – в действительности многие китайские знаки содержат фонетический маркер, который читается относительно одинаково: одна форма читается [ма], другая – [ти] и так далее. Однако этих маркеров, как и исключений, существует так много, что говорить об орфографическом правиле едва ли уместно. Китайская письменность в основном опирается на вероятные ассоциации между знаками и звуками речи, которые должны быть усвоены по одному, так как их структура не подчиняется никаким абстрактным правилам.

Каково же влияние культурных вариаций на нейронные сети, отвечающие за чтение? Межкультурное обобщение здесь явно преобладает. Хотя нейровизуализационные исследования позволили выявить некоторые расхождения между итальянскими, английскими, китайскими и японскими читателями, все они сводятся к локальным изменениям в пределах универсальных нейронных цепей (рис. 2.20). Два маршрута чтения, описанные ранее, существуют во всех культурах и локализованы в одних и тех же областях мозга. Единственное различие заключается в том, каким образом каждый язык использует эти маршруты. Китайские иероглифы или знаки кандзи, обозначающие целые слова, как правило, вызывают бо́льшую активность в областях, связанных с ментальным лексиконом (особенно в левой средней височной области). Системы письменности, передающие звуки с помощью относительно простых правил, такие как алфавитное письмо, китайский пиньинь или японская слоговая азбука кана, задействуют слуховые области напрямую, опираясь на маршрут преобразования букв в звуки (особенно левую верхнюю височную область и угловую извилину)[[206]](#footnote-206).



**Рис. 2.20. Прозрачность системы орфографии влияет на организацию мозга читателя.** Системы письменности различаются по размеру обозначаемых ими единиц (фонемы, слоги или целые слова) и по степени их ясности (постоянство связи между символами и звуками речи). Итальянская орфография очень правильная, в то время как английская орфография изобилует иррегулярностями и исключениями. При сравнении активности мозга во время чтения на итальянском и английском языках в рамках общей сети наблюдаются небольшие изменения. Итальянский язык вызывает более сильную активацию в слуховых областях верхней височной доли, тогда как английский больше задействует затылочно‑височную и левую нижнюю лобную области (по материалам статьи Paulesu et al., 2000).

Аналогичные культурные различия можно обнаружить и для алфавитных систем письменности[[207]](#footnote-207). В отличие от английского, итальянский язык, обладающий высокой прозрачностью, вызывает чуть более сильную активацию в слуховых областях височной доли, что, по всей вероятности, обусловлено более простыми правилами преобразования букв в звуки. Английский язык, орфография которого непрозрачна, вызывает бо́льшую активность в левой нижней лобной области, участвующей в семантическом и лексическом отборе, а также умеренное усиление активности в левой затылочно‑височной области. Судя по всему, эти закономерности связаны с тем фактом, что вычисление зрительной формы английских слов требует особых усилий. В то время как итальянскому читателю достаточно идентифицировать последовательность букв, чтобы преобразовать их в звук, английский читатель должен обратить внимание на контекст, в который помещены эти буквы. Без этого он не сможет извлечь произношение таких сложных графем, как «ou», «gh» или «ing», – единственных единиц, допускающих несколько вариантов правописания.

В некотором смысле межъязыковые отличия сравнимы с внутриязыковыми различиями между словами, которые читаются по правилам, и теми, что читаются не по правилам. Когда носитель английского языка сталкивается с такими исключениями, как «colonel», паттерн его мозговой активности напоминает модель китайского читателя: при чтении подобных слов он вынужден в значительной степени полагаться на лексико‑семантический маршрут, анализирующий буквенную цепочку как известный «знак» с собственным произношением. И наоборот, читая новую, но правильную последовательность букв, например «Ло‑ли‑та» Набокова, англичанин, как и итальянец, опирается на прямой путь от букв к звукам, идущий через верхнюю часть височной доли.

Все эти особенности говорят в пользу фундаментальной универсальности нейронных цепей для чтения. Несмотря на все многообразие систем письменности и правил транскрипции, читатели во всем мире задействуют преимущественно одни и те же области мозга. Китайские иероглифы, алфавитные ряды, еврейские буквы и знаки японской кандзи – все они обрабатываются в рамках схожих маршрутов. Попадая в зрительную кору, все письменные стимулы направляются в левую область «буквенной кассы», где распознаются независимо от их точной формы, размера и положения. После этого весь «пакет» зрительной информации передается по одному из двух основных путей: один преобразует его в звук, другой – в смысл. Оба маршрута работают одновременно и параллельно друг другу – какой именно одержит верх, зависит от самого слова (обычное или иррегулярное).

### Чтение и эволюция

Универсальные характеристики областей мозга, отвечающих за чтение, вновь возвращают нас к вопросу об их происхождении. Как наш мозг обрел нейронные цепи, специализирующиеся на чтении? Почему зрительное распознавание слов всегда задействует одну и ту же область мозга у всех читателей, с разницей всего в несколько миллиметров? Благодаря какому невероятному совпадению эта зона обладает всеми необходимыми для эффективного чтения свойствами, включая пространственную инвариантность, развитые связи с другими речевыми областями и способность заучивать абстрактные формы букв? Разве эти свойства не означают, что наш мозг заведомо предрасположен к чтению? Вовсе нет. Неопровержимая логика подсказывает, что это невозможно. Чтение – слишком позднее изобретение, чтобы наш геном успел приспособиться к нему. За сотни тысяч лет, в течение которых происходило медленное становление нашего вида, в нашем мозге могли развиться специфические устройства для речи и социального общения, но не для чтения, которое насчитывает всего несколько тысяч лет.

Если мы используем для чтения зрительную систему, присущую всем приматам, организация мозга других животных заслуживает самого пристального внимания. Какие функции у макаки выполняют те области, которые у человека отвечают за чтение? Каким образом нам удалось перепрофилировать эти зоны на такую новую культурную деятельность, как распознавание письменных слов?

## 3

## Читающая обезьяна

Чтение основывается на примитивных нейронных механизмах зрения приматов, приобретенных в ходе эволюции. Исследования на животных показывают, что в мозге обезьяны имеется целая иерархия нейронов, реагирующих на фрагменты зрительных сцен. В совокупности эти клетки содержат элементарные фигуры, комбинации которых могут закодировать любой зрительный объект. Некоторые нейроны макак даже реагируют на пересечения линий, напоминающие латинские буквы (например, T, Y и L). Эти формы представляют собой полезные инварианты для распознавания объектов. Согласно гипотезе нейронного рециклинга, **во время обучения чтению часть существующей нейрональной иерархии переориентируется на новую задачу распознавания букв и слов**.

Человек в своем высокомерии мнит себя величайшим творением, достойным промежуточного положения божества. Более скромные, и я в том числе, убеждены, что правильнее считать его произошедшим от животных.

ЧАРЛЗ ДАРВИН, ЗАПИСНЫЕ КНИЖКИ, 1838

Мне глубоко чужда мысль, будто Человек так же далек от шимпанзе, как Ornithorhynchus[[208]](#footnote-208) от лошади; интересно, что бы сказал на это шимпанзе?

ЧАРЛЗ ДАРВИН, ПИСЬМО ГЕКСЛИ, 1863

Никто не отстаивал эволюционные истоки когнитивных способностей человека более настойчиво и горячо, чем Чарлз Дарвин. В своих трудах «Происхождение человека»[[209]](#footnote-209) (1871) и «О выражении эмоций у человека и животных»[[210]](#footnote-210) (1872) он собрал сотни наблюдений, свидетельствующих о животном начале человеческого поведения. Даже речь, утверждал он, подчинена этому правилу: «…человек обладает инстинктивным стремлением говорить, судя по лепету наших маленьких детей». Дарвин стал первым ученым, который провел систематическое сравнение между овладением речью и развитием певческого поведения у птиц.

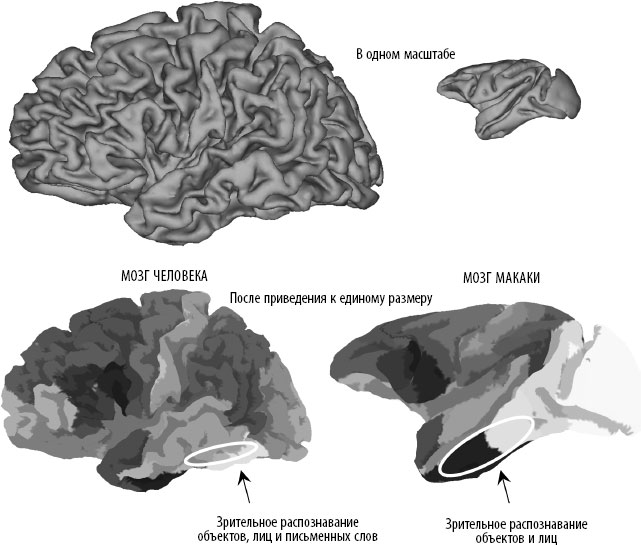
Несмотря на высшие интеллектуальные способности, социальные эмоции, нравственное сознание и культурные изобретения, отличающие наш вид, Дарвин ясно дает понять: ключ к разгадке тайны нашего происхождения следует искать среди шимпанзе и других приматов.

Теории Дарвина применимы и к чтению. Нейронные цепи, отвечающие за чтение, будут полностью поняты только тогда, когда мы исследуем цепи, которые другие приматы используют для зрения и которые принципиально ничем не отличаются от человеческих. Исследования, что ведутся вот уже 100 лет, наконец‑то позволили вскрыть нейронные механизмы, позволяющие видеть всем приматам, включая человека. Может быть, они же и хранят секрет нашей уникальной способности читать? Наделен ли наш грамотный мозг нейронами, которые специализируются на буквах, слогах и целых словах? Какой тип нейронного кода запечатлевается в нашем мозге во время формирования навыка чтения?

### О людях и обезьянах

В 1930‑х годах в Чикаго бихевиорист Генрих Клювер и нейрохирург Пол Бюси объединили свои усилия, чтобы провести ряд важных исследований, посвященных изучению травм мозга и их специфического влияния на поведение макак[[211]](#footnote-211). После двустороннего повреждения височных долей подопытные обезьяны демонстрировали странный набор симптомов, известный сегодня как синдром Клювера – Бюси. Масштабные изменения наблюдались в зрительном, пищевом, социальном и сексуальном поведении. Макаки вели себя так, будто больше не узнавали своих собратьев‑обезьян, предметы или продукты питания. Они исследовали окружающий мир бессистемно, преимущественно ртом, а также пытались глотать все подряд и совокупляться с неподходящими для этого объектами. Эту разновидность слепоты Клювер и Бюси, вслед за немецким неврологом Генрихом Лиссауэром (1890), назвали «психической». Животные не были по‑настоящему слепы, но по какой‑то таинственной причине переставали узнавать формы.

Спустя 20 лет нейрофизиологи Карл Прибрам и Мортимер Мишкин точно определили области мозга, ответственные за зрительные нарушения у обезьян[[212]](#footnote-212). Они установили, что «психическую слепоту» вызывают повреждения вентральной височной доли обоих полушарий (рис. 3.1). Обезьяны с такими нарушениями больше не могут различать объекты, а также не способны усвоить, что пищу систематически прячут под красным кубом, а не под полосатой зеленой сферой. Исследователи обнаружили, что даже после сотен тренировочных испытаний обезьяны продолжали выбирать один из двух предметов наугад. Кроме того, они отметили, что животные вовсе не были слепыми: они не только абсолютно нормально перемещались в пространстве, но и без труда находили и хватали предметы вокруг себя.



**Рис. 3.1.** Затылочно‑височная область, отвечающая за чтение у людей, играет общую роль в распознавании объектов и лиц у всех приматов. Несмотря на выраженные различия в поверхности коры, многочисленные сходства в микроорганизации ее клеточных слоев указывают на систематическое соответствие между отделами мозга человека и обезьяны.

Еще в 1890 году Генрих Лиссауэр описал аналогичный феномен у людей. Он обратил внимание, что после инсульта в левой височной области некоторые пациенты теряли способность распознавать объекты зрительно, хотя по‑прежнему могли обращаться с ними должным образом. Во всем остальном их острота зрения не выходила за рамки нормы[[213]](#footnote-213). Это нарушение, которому Лиссауэр дал название «психическая слепота» («зрительная агнозия»), стало первым документально подтвержденным свидетельством того, что за визуальное распознавание объектов у людей и приматов отвечают особые нейронные пути.

У людей височные области, отвечающие за распознавание объектов, занимают нижнюю часть мозга. У макаки они располагаются немного сбоку и простираются к переднему краю височной доли (рис. 3.1). Вероятно, это различие в форме можно объяснить увеличением человеческих ассоциативных областей, имеющих отношение к обработке речи и связанных с семантическими сетями, особенно в передних и латеральных отделах височных долей.

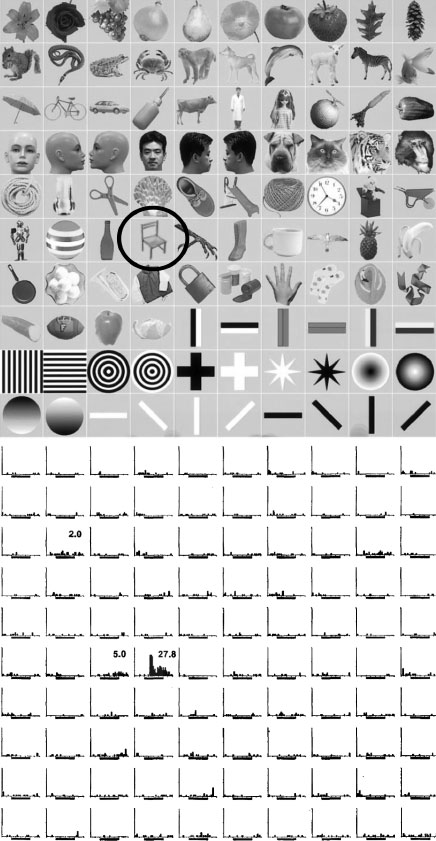
Расширение ассоциативных областей, по всей видимости, привело к тому, что зрительное распознавание переместилось в нижнюю часть мозга, однако четкое сходство, обусловленное общим происхождением, по‑прежнему роднит наш мозг с мозгом других приматов. В 1910 году, после тщательного изучения микроорганизации коры и кластеризации ее нейронов в четкие слои, анатом Корбиниан Бродман предложил классификацию корковых структур, которая используется до сих пор. Анатомия показывает, что одни и те же участки мозга обнаруживаются, хотя и с некоторыми различиями, как у макак, так и у людей. В частности, области, которые Бродман обозначил как 20[[214]](#footnote-214) и 37[[215]](#footnote-215), присутствуют у обоих видов и участвуют в зрительном распознавании. Примечательно, что «буквенная касса», которая активируется во время чтения, находится как раз в пределах поля Бродмана 37. Таким образом, за чтение отвечает вовсе не новая область мозга, свойственная исключительно человеку. Мы распознаем письменное слово, используя нейронные сети, которые развились с течением времени и на протяжении последних 10 миллионов лет специализировались на зрительной идентификации объектов. По своему расположению «буквенная касса» совпадает с зоной, повреждения которой вызывают «психическую слепоту».

### Нейроны для кодирования объектов

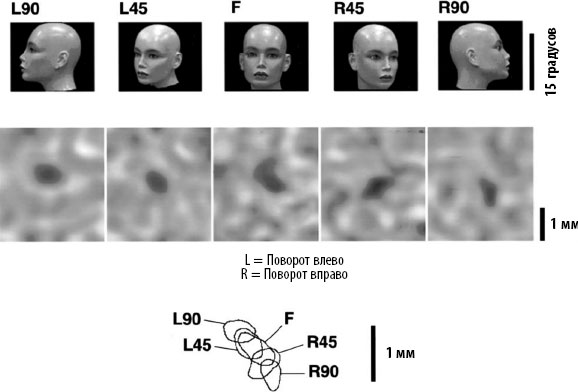
Объект, освещенный под разными углами или представленный с разных сторон от точки фиксации взгляда, проецирует на сетчатку отличные друг от друга изображения. Эта изменчивость существенно усложняет задачу для нейронных сетей, отвечающих за категории, с помощью которых мы идентифицируем мир. Допустим, нам нужно идентифицировать некий объект. Не имеет значения, расположен он близко или далеко от нас, слева или справа, вертикально или горизонтально, на свету или в тени. Мы можем легко распознать его независимо от освещения, наклона, расстояния и местонахождения. В ходе эволюции мозг, несомненно, подвергся интенсивному избирательному давлению, которое вынудило его прийти к устойчивому восприятию мира. Сегодня мы знаем, что инвариантность – важнейшая характеристика нижней височной доли. Обезьяны с повреждениями вентральной височной области не способны распознавать объекты таким образом. В отличие от здоровых особей, они не могут распространять результаты научения на новые условия и перестают узнавать усвоенную фигуру при изменении освещения, ее размера или пространственного расположения[[216]](#footnote-216). Эксперименты на животных показывают, что нижняя височная кора имеет ключевое значение в сборе стабильной зрительной информации. Эта врожденная компетенция, судя по всему, тесно связана с нашей способностью определять, что «РАДИО», «радио» и даже «РаДиО» – одно и то же слово.

Не так давно технология регистрации отдельных нейронов позволила установить точный нейронный код для зрительных объектов у макак. Еще в конце 1960‑х годов Дэвид Хьюбел и Торстен Визель записали активность нейронов в первичной зрительной коре кошки и обнаружили, что клетки срабатывают в ответ на полосы света. В 1982 году их работа была удостоена Нобелевской премии. В 70–80‑х годах сразу несколько выдающихся нейробиологов (Роберт Дисаймон, Чарлз Гросс, Дэвид Перретт, Кэйдзи Танака) последовали их примеру и вживили электроды в передние отделы мозга макаки[[217]](#footnote-217). Простых линий оказалось недостаточно, чтобы вызвать реакцию нейронов нижневисочной коры: требовались более сложные стимулы. В итоге ученые собрали самые разные образы, фигуры, лица и предметы и предъявляли их зрительно, по одному зараз.

Избирательность нейронных разрядов была очевидна сразу. Зачастую нейрон реагировал только на одно лицо или один конкретный объект, игнорируя десятки других (рис. 3.2). Эта избирательность была тем более примечательна, что сопровождалась выраженным постоянством отклика при масштабных изменениях в деталях исходного изображения. В первичной зрительной коре реакция нейронов обусловлена очень узким окном ввода на сетчатке – так называемым рецептивным полем. Нейроны в нижневисочной коре совсем другие. Их рецептивные поля обширны, а потому они могут реагировать на объекты, появляющиеся почти в любом месте поля зрения. Однако в любой заданной точке этой огромной зоны восприятия каждый нейрон демонстрирует предпочтение объектов определенной категории. Такая предвзятость сохраняется даже тогда, когда изображение смещается на несколько градусов, увеличивается или уменьшается в два раза[[218]](#footnote-218), либо попадает под другое освещение, в результате чего меняется игра света и тени[[219]](#footnote-219).



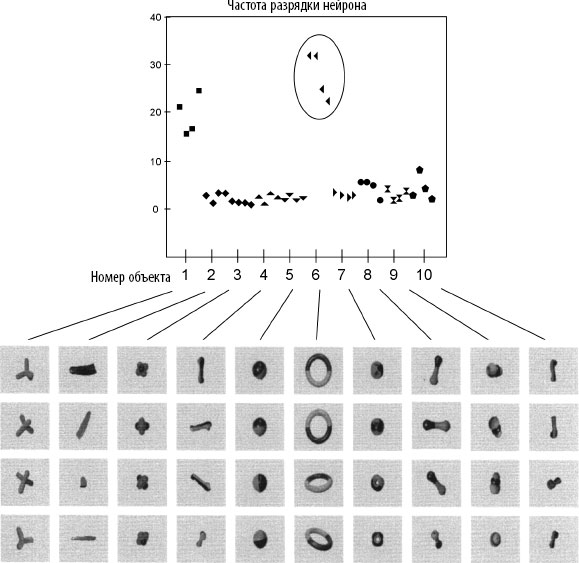
**Рис. 3.2.** Нейроны нижневисочной коры обезьяны могут обладать выраженной избирательной чувствительностью по отношению к определенным объектам, лицам или зрительным сценам. Из 100 изображений, последовательно предъявленных одному конкретному нейрону, только вид стула вызвал значительное усиление его активности (по материалам статьи Tamura & Tanaka, 2001). *Использовано с разрешения Oxford University Press и Cerebral Cortex.*



**Рис. 3.3.** Небольшие участки нижневисочной коры обезьяны реагируют на лица. Вид лица активирует корковую колонку шириной около 500 мкм, которая выглядит как темное пятно на поверхности коры. Когда лицо вращается, последовательные его изображения активируют соседние и частично перекрывающиеся секторы, тем самым содействуя уточнению нейронного кода, неизменного относительно вращения (по материалам статьи Tanaka, Tomonaga, & Matsuzawa, 2003). *Использовано с разрешения Cerebral Cortex*.

Что происходит, когда объект поворачивается вокруг своей оси? Инвариантность относительно вращения – настоящая проблема для нашей зрительной системы. На самых ранних стадиях визуального распознавания последовательные положения вращающегося лица не кодируются одними и теми же нейронами. Вид справа, спереди и слева активируют соседние участки коры, которые частично перекрывают друг друга (рис. 3.3)[[220]](#footnote-220). Если объект вращается на сетчатке, большинство нейронов нижневисочной коры срабатывают только в тот момент, когда он оказывается повернут под определенным углом. При отклонении от этого предпочтительного угла более чем на 40 градусов они перестают реагировать вообще. Впрочем, некоторые нейроны более абстрактны и «откликаются» на объект независимо от его положения в пространстве (рис. 3.4)[[221]](#footnote-221). Проще говоря, эти инвариантные нейроны, судя по всему, собирают входные данные от множества других клеток, каждая из которых отвечает за конкретный угол обзора. Так, они обнаруживают присутствие объекта, объединяя все возможные точки обзора, с которых его можно увидеть.

Итак, проблема зрительной инвариантности, по всей видимости, решается за счет целой серии последовательных стадий обработки, реализуемых в пределах нижневисочной коры. На высшем уровне этой зрительной иерархии активность нейронных ансамблей остается постоянной даже тогда, когда объект движется, отдаляется, поворачивается или отбрасывает новые тени. Этот механизм возник за миллионы лет до изобретения чтения, но его существование играет ключевую роль в нашей способности распознавать слова любого размера, напечатанные любым шрифтом и в любом месте на странице.



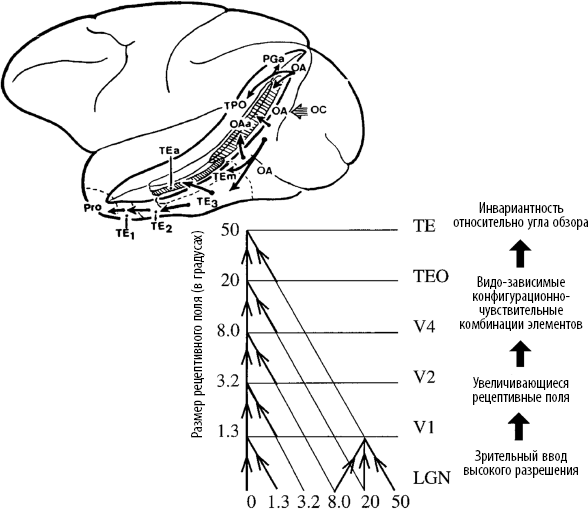
**Рис. 3.4.** Некоторые нейроны нижневисочной коры реагируют на формы избирательно и инвариантно. Этот нейрон энергично срабатывает в ответ на предъявление кольца и (в меньшей степени) на предъявление «треноги» (внизу слева). Реакция в основном не зависит от ориентации объекта в пространстве (по материалам статьи Booth & Rolls, 1998). *Использовано с разрешения Cerebral Cortex*.

### «Бабушкины» клетки

Только представьте: **один нейрон реагирует только на одно изображение из тысячи**. Это физиологическое наблюдение ошеломляет. Неужели наша кора в самом деле покрыта миллионами ультраспециализированных клеток? Физиолог Гораций Барлоу однажды в шутку заметил, что мозг содержит «бабушкины клетки» – нейроны, реагирующие только на вашу бабушку. Хотя утверждение Барлоу было не лишено иронии, он оказался прав или, по крайней мере, близок к истине. Мозг обезьяны, как и человека, содержит нейроны, которые настолько узкоспециализированы, что в буквальном смысле посвящены одному‑единственному человеку, образу или понятию. Например, в переднем отделе височной доли пациента с эпилепсией однажды обнаружили нейрон, который реагировал исключительно на голливудскую суперзвезду Дженнифер Энистон[[222]](#footnote-222). Характер исходного изображения значения не имел: это могла быть цветная фотография, лицо крупным планом, карикатура или даже написанное имя – нейрон срабатывал только при виде или упоминании Дженнифер!

Концепция «бабушкиного нейрона» вполне может оказаться истинной, но с рядом оговорок. Даже когда такая удивительная избирательность обнаруживается в одном нейроне, она должна быть результатом вычислений гораздо более крупной сети. Эксперименты, на которые я ссылаюсь, предполагали вживление электродов в участки зрительной системы, выбранные наугад. Если можно найти специализированный нейрон таким бессистемным способом, то, без сомнения, миллионы других ждут своего открытия. Кроме того, их специфичность неизбежно вытекает из коллективной работы многих клеток. В сущности, избирательная реакция одной клетки подобна верхушке айсберга: мы можем видеть ее только благодаря массе нейронов, создающих целую иерархию детекторов. Насколько нам известно, отдельный нейрон сам по себе может выполнять лишь относительно элементарные вычисления на входе. Кроме того, на выходе он не имеет большого влияния: только коалиция из нескольких сотен клеток способна влиять на другие группы клеток. Следовательно, каждое зрительное событие или лицо, которое мы распознаем, должно кодироваться несколькими кластерами избирательных нейронов (так называемое разреженное кодирование).

Представить себе всю цепочку – от миллионов фоторецепторов в сетчатке, которые реагируют на пятна света, до нейронов, что обнаруживают присутствие Дженнифер Энистон, – это неимоверно сложная задача. Мы только начинаем понимать детальную нейронную организацию зрительного распознавания. Мы знаем, что анатомически нижневисочная кора макаки похожа на пирамиду. Зрительный образ входит в ее основание, после чего множество последовательных связей передают его из первичной зрительной коры, расположенной в задней части головы, к переднему краю височного полюса (рис. 3.5)[[223]](#footnote-223). По мере продвижения вперед сложность образов, возбуждающих нейроны, возрастает. На каждом этапе рекомбинация откликов нейронов предыдущего уровня позволяет клеткам следующего уровня реагировать на более крупные фрагменты изображений. Иначе говоря, наша зрительная система идеально приспособлена для повторной сборки гигантского пазла, который создает сетчатка, раскладывая входящие изображения на миллионы пикселей.[[224]](#footnote-224)



**Рис. 3.5.** Затылочная и нижневисочная области организованы в виде иерархии возрастающей инвариантности и последовательно соединены друг с другом в соответствии с «синаптической пирамидой». На каждой стадии размер рецептивного поля – области сетчатки, на которую реагируют нейроны, – увеличивается в два‑три раза. Параллельно возрастает сложность и инвариантность их зрительных предпочтений (по материалам статьи Rolls, 2000). *Использовано с разрешения Neuron*.

Если бы мы могли подняться по нейронной пирамиде шаг за шагом, синапс за синапсом, и записать активность отдельных нейронов, попавшихся нам по пути от первичной зрительной коры до нижней височной доли, мы бы обнаружили три типа изменений:

• Во‑первых, предпочитаемые образы, на которые реагирует нейрон, должны постепенно усложняться. Чтобы вызвать активность в первичной зрительной коре, достаточно маленькой диагональной черты. Для срабатывания нейронов на более высоких уровнях требуются сложные кривые, фигуры, фрагменты объектов и даже целые объекты или лица.

• Во‑вторых, нейроны более высоких уровней реагируют на более обширные участки сетчатки. Каждая клетка определяется сквозь призму своего рецептивного поля – то есть места на сетчатке, которое вызывает ее активность. На каждом уровне рецептивные поля расширяются в два‑три раза. Это означает, что диаметр ретинального участка, на который должен попасть предпочитаемый объект, чтобы нейрон сработал, тоже увеличивается вдвое или втрое.

• В‑третьих, чем выше уровень, тем выше степень инвариантности. Нейроны низших уровней чувствительны к изменениям местоположения, размера и освещения входящей картинки. В областях более высокого уровня нейроны допускают бо́льшие сдвиги и искажения кодируемых объектов.

Функциональная визуализация мозга показывает, что иерархическая организация и возрастающая инвариантность присущи и нашей зрительной коре[[225]](#footnote-225). У человека, как и у других приматов, концепция нейронной иерархии обеспечивает простое, хотя и гипотетическое решение проблемы зрительной инвариантности. Чтобы опознать объект, наша кора должна усвоить, как он выглядит с разных сторон. Механизмы научения закрепляют за каждым видом отдельный набор нейронов, после чего соединяют «картинки» так, чтобы они сообща возбуждали те же самые нейроны на следующем уровне иерархической пирамиды. Результат – инвариантная нейронная цепь, допускающая значительные изменения угла обзора. Эта простая идея может быть легко воспроизведена на каждом этапе. Нейроны, отвечающие за распознавание профиля Дженнифер Энистон, собирают информацию от клеток более низких уровней, которые идентифицируют фрагменты ее лица. Эти нейроны способны распознать глаз или нос, потому что предыдущий уровень уже обнаружил паттерны света и тени, совместимые с присутствием этих элементов в конкретном месте на сетчатке.

Понятия иерархии и параллельного функционирования – вот главные ключи к зрительной системе приматов. Мысленный образ, разложенный сетчаткой на множество «пикселей», постепенно собирается заново пирамидой нейронов, работающих одновременно. На первый взгляд такой подход может показаться неэффективным: в таком случае каждому из возможных фрагментов, составляющих зрительную сцену, должны быть посвящены миллионы нейронов. Нагрузка на нервную систему, однако, относительно невелика: все, что мы видим, распределяется по гигантской сети простых параллельных процессоров. Подобно тому, как колония муравьев обладает более высоким интеллектом, нежели один муравей, коллективная работа миллионов нейронов позволяет выполнять операции гораздо более сложные, чем те, на которые способна одна клетка. В действительности огромное количество вычислительных блоков приводит к значительной экономии времени обработки. Одиночные нейроны работают медленно. Они получают и передают информацию примерно за 10 миллисекунд, что в миллион раз медленнее скорости электронного микропроцессора. Однако, объединяя активность миллионов нервных клеток, наша зрительная система становится самым эффективным компьютером в мире: ей требуется всего одна шестая доля секунды, чтобы заметить лицо независимо от его внешних особенностей и пространственного расположения[[226]](#footnote-226).

Архитектура мозга вдохновила многих программистов. В настоящее время доступны несколько компьютерных моделей зрительной иерархии, которые я описал[[227]](#footnote-227). Лучшие из них близки к человеческой как по скорости, так и по степени искажения изображения, которую они допускают. Благодаря этим искусственным нейросетям автоматическое распознавание лиц больше не воспринимается как что‑то из области научной фантастики. Это часть реальной жизни – самая простая цифровая камера сегодня может распознавать лица и улыбки.

### Алфавит в мозге обезьяны

Пирамидальная модель предполагает, что нейронный код для любого зрительного объекта состоит из иерархии нервных клеток, каждая из которых обнаруживает наличие некоего фрагмента этого объекта в получаемом изображении. Большинство таких нейронов, вероятно, реагируют на упрощенные и ограниченные виды объектов или их частей. Используя эту гипотезу в качестве отправной точки, японский нейробиолог Кэйдзи Танака сделал любопытное открытие: мозг обезьяны содержит мозаику нейронов, посвященных фрагментам формы. В совокупности эти примитивные очертания образуют своего рода «нейронный алфавит», комбинации которого могут описать любую сложную форму.

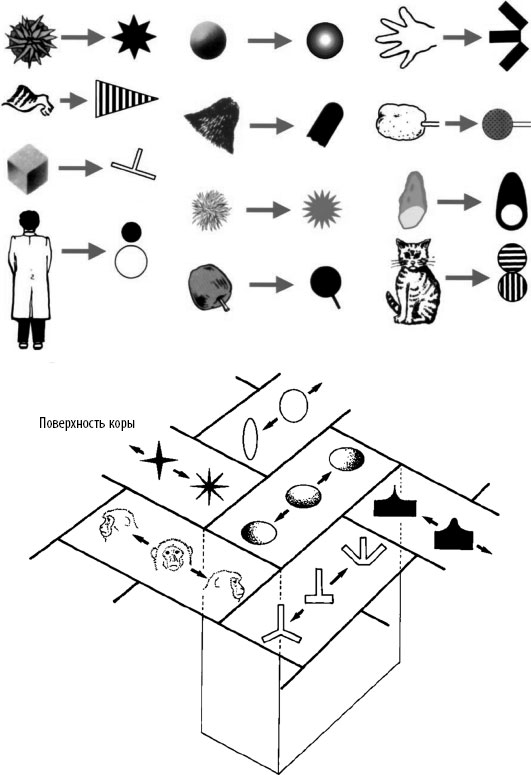
Для изучения нейронного кода объектов Танака и его коллеги разработали специальный алгоритм, постепенно упрощавший сложные сцены (рис. 3.6). Они брали образ, который провоцировал энергичные разряды нейрона, а затем сводили его к самой простой возможной форме, которая по‑прежнему вызывала возбуждение. Рассмотрим нейрон, изначально реагировавший на вид кошки. Танака обнаружил, что эта клетка так же активно срабатывала при виде двух соприкасающихся дисков. Другому нейрону «нравилась» форма яблока, но он так же хорошо откликался на черный кружок с «хвостиком». Третий нейрон, который срабатывал при виде куба, в действительности обнаруживал только Y‑образное пересечение его центральных граней. Иными словами, большинство клеток в нижневисочной коре разряжались независимо от кардинальных упрощений изображения[[228]](#footnote-228).

Записав активность сотен нейронов, Танака смог реконструировать приблизительную мозаику объектных клеток на поверхности коры обезьяны. Предпочтения отдельных нейронов менялись плавно: как правило, соседние клетки кодировали схожие формы (рис. 3.6). Например, один сектор отвечал за варианты Y и T. Другие участки специализировались на формах, напоминавших звезды, упрощенный профиль лица или цифру 8. Танака фактически обнаружил целый корковый каталог элементарных форм. В любом заданном месте коры все нейроны внутри вертикальной корковой колонки «интересовались» более или менее похожими фигурами. При этом каждый из них был чувствителен к мельчайшим метрическим отклонениям от базового прототипа.

В совокупности эти клетки обеспечивают алфавит форм, который позволяет классифицировать любое изображение (лицо это или нет?) и выделить его детали, ответив на вопросы: Это лицо Дженнифер Энистон? Сколько ей лет? Она счастлива? Объединяя отклики миллионов таких детекторов, мозг кодирует каждую из миллиардов картинок, которые мы можем увидеть в природе.

Один из учеников Танаки, Манабу Танифудзи, продолжил исследования в этом направлении и выяснил, как множественные колонки нейронов кодируют произвольные объекты. В своих экспериментах он использовал оптическую запись, которая позволила увидеть большую часть коркового кода, связанного со зрительным объектом[[229]](#footnote-229). Всякий раз, когда мозг активируется, количество света, которое он отражает, уменьшается (механизм этого явления до конца не изучен). Танифудзи измерял нейронную активность всей области мозга с помощью чувствительной видеокамеры, фиксирующей крошечные изменения в отражении света на поверхности коры. С помощью мощного зум‑объектива камера отслеживает активные структуры, расположенные на расстоянии всего нескольких десятых миллиметра друг от друга – примерно такого же размера были колонки Танаки, кодировавшие формы.

В одном эксперименте Танифудзи показывал обезьяне изображение огнетушителя. Идея состояла в том, чтобы стимулировать кору предметами, в распознавании которых эволюция не могла сыграть никакой роли. Корковая мозаика, кодировавшая этот объект, проявилась в виде разреженного массива темных пятен – зон выраженной нейронной активности. Эта «корковая опись» огнетушителя возникала всякий раз, когда Танифудзи показывал его обезьяне. Затем ученый убрал рукоятку и шланг. При виде только красного баллона некоторые пятна исчезли, зато другие остались такими же активными. Что еще удивительнее, в этом случае «вспыхнули» новые пятна. Другими словами, как только менялся внешний вид объекта, каждому новому изображению немедленно приписывался уникальный нейронный код.



**Рис. 3.6.** Упрощение изображения позволяет выявить микротопографию височной коры. Сложный стимул, активирующий нейрон, постепенно упрощается, пока не будет найден наиболее простой образ, по‑прежнему вызывающий сильную реакцию (вверху). Некоторые из минимальных форм напоминают буквы (O, T, Y, E и так далее). Реагирующие на них нейроны организованы в вертикальные колонки, перпендикулярные коре головного мозга. В этом положении предпочитаемые формы непрерывно варьируются, образуя локальные секторы «избранной» фигуры (по материалам статьи Tanaka, 2003). *Использовано с разрешения Cerebral Cortex.*

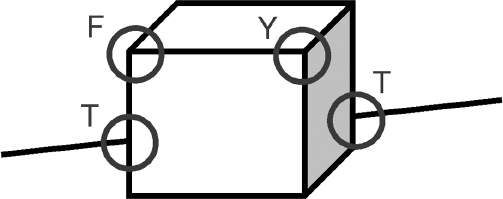
Регистрируя активность отдельных нейронов в каждом из пятен, Танифудзи смог пролить свет на лежащий в основе комбинаторный код. В одном месте нейроны реагировали на вид одной только рукоятки, а также на любую V‑образную форму, похожую на очертания руки или кошачьих ушей. В другом месте они тоже откликались на рукоятку, но прямые линии не воспринимались: этим клеткам больше нравилась изогнутая, как буква «J», форма. Нейроны из третьей группы реагировали на сам баллон, а также на любую другую удлиненную и несколько прямоугольную форму, но переставали это делать, когда к предмету добавлялись такие элементы, как рукоятка или шланг.

Эксперименты Танифудзи внесли существенный вклад в понимание того, как наша височная кора кодирует зрительные образы – даже те, которые мы видим впервые. Секрет заключается в алфавите элементарных форм, каждая из которых кодируется определенными популяциями нейронов и миллионами их потенциальных комбинаций. Различные клетки реагируют не только на разные части объекта; их интересует, как составляющие предмета расположены в пространстве. Подобный комбинаторный код существует на каждом иерархическом уровне зрительной системы. При движении от низших уровней к высшим масштаб и степень сложности предпочитаемых форм возрастают. Первичная зрительная область (V1) главным образом отвечает за обнаружение тонких линий и контуров объектов. Во вторичной зрительной области (V2) нейроны уже чувствительны к сочетаниям линий с четко выраженными наклонами или кривыми[[230]](#footnote-230). Еще выше, в задней части нижневисочной коры (в так называемой области TEO) клетки реагируют на простые комбинации кривых[[231]](#footnote-231). Избирательная реакция нейронов – скажем, на букву F – может быть сведена к обнаружению простого сочетания элементарных кривых, каждая из которых расположена в относительно фиксированном месте: верхняя полоса, верхний левый угол, средняя полоса и так далее. Аналогичная схема, по‑видимому, повторяется на каждом уровне: нейронная избирательность есть результат объединения элементов, кодируемых нейронами предыдущих ярусов.

### Протобуквы

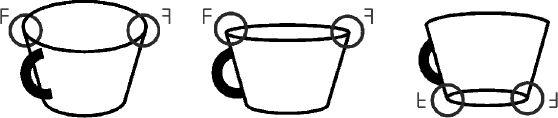
Возможно, самая поразительная особенность нейронов нижневисочной коры заключается в следующем: многие из предпочитаемых ими форм очень напоминают наши буквы, символы или элементарные китайские иероглифы (рис. 3.4 и 3.6). Одни клетки реагируют на два соприкасающихся круга, образующих восьмерку, другие – на пересечение двух черточек, образующих букву Т, третьи же предпочитают астериск, круг, букву «J», букву «Y»… По этой причине мне нравится называть их протобуквами. То, что эти формы столь глубоко встроены в предпочтения нейронов макак, удивительно. По какому необычайному стечению обстоятельств этот корковый «алфавит» так похож на тот, который мы унаследовали от евреев, греков и римлян? Парадокс чтения поистине достигает своего апогея в этом таинственном сходстве между двумя мирами, которые мы считали дискретными: глубинами коры головного мозга обезьяны и поверхностью глины, тростника и пергамента, на которые первые писцы наносили свои письмена.

Некоторое представление о происхождении этих обезьяньих протобукв можно получить, изучив причину их появления в зрительном поле. Наиболее правдоподобная гипотеза состоит в том, что эти фигуры были отобраны либо в ходе эволюции, либо в результате зрительного научения как составляющие общего «алфавита» форм, необходимых для анализа зрительной сцены. Форма Т, например, чрезвычайно часто встречается в естественных сценах. Всякий раз, когда один объект маскирует другой, их контуры образуют Т‑образное соединение. Значит, нейроны, выполняющие функцию «Т‑детекторов», помогают определить, какой объект находится перед каким.



Другие распространенные конфигурации, такие как формы Y и F, обнаруживаются в точках схождения нескольких граней – они характеризуют острые углы и их ориентацию. Формы J и 8 присущи объектам с кривыми и отверстиями. Все эти фрагменты фигур относятся к так называемым неслучайным свойствам зрительных сцен, поскольку они вряд ли могут возникнуть произвольно в отсутствие какого‑либо объекта вообще. Если вы бросите на пол горсть спичек, маловероятно, что две из них образуют Т‑образное пересечение, и еще менее вероятно, что три из них дадут конфигурацию в виде буквы Y. Следовательно, когда одна из этих форм появляется на сетчатке, мозг может быть уверен, что она соответствует контуру некоего объекта во внешнем мире.

Если кора считает нужным кодировать неслучайные свойства, то это, несомненно, потому, что их комбинации крайне стабильны относительно изменений размера, освещения и угла обзора. Если взять кофейную чашку и повертеть ее в руке, края чашки образуют два противоположных F‑пересечения. Даже с одним закрытым глазом практически невозможно найти положение, под которым край и боковые стороны чашки находятся под прямым углом: как только исчезает две F наверху, тут же появляются две F внизу.

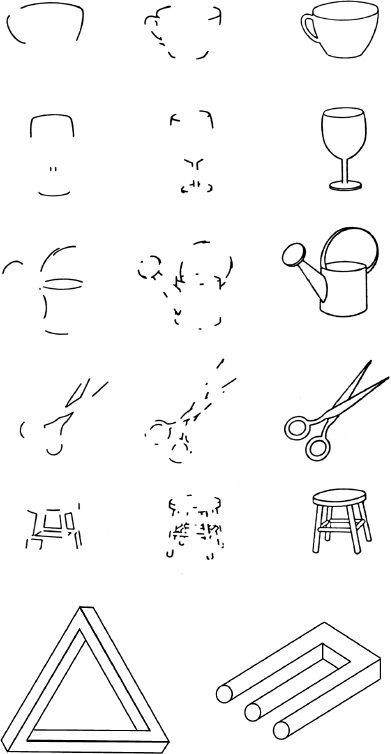


Во многих случаях перечень фигур, образуемых пересечением ребер, представляет собой инвариант, ограничивающий возможность идентификации объекта независимо от угла представления. По всей вероятности, наша нервная система приматов обнаружила это инвариантное свойство и использовала его для кодирования форм. Зрительные сцены обладают и многими другими неслучайными качествами. Одно из них – параллелизм: маловероятно, что изображение будет содержать два параллельных сегмента, если только они не являются гранями трехмерного объекта. Другие инварианты связаны с пространственной организацией: если объект содержит отверстие, то его проекция на сетчатку, вероятно, будет включать замкнутую О‑образную кривую. Зрительные инварианты, подобные этим, настолько узнаваемы, что прочно внедрены в нашу нервную систему. Согласно калифорнийскому психологу Ирвингу Бидерману, наша память вовсе не хранит детализированные визуальные образы объектов. Она просто извлекает схему их неслучайных свойств, организации и пространственных отношений[[232]](#footnote-232). Это позволяет нам сначала воссоздать элементарные части, составляющие трехмерную структуру объекта (поверхности, конусы, палочки), а затем собрать их в единую репрезентацию его формы. Главное преимущество такого кода – стабильность и постоянство при вращении, окклюзии[[233]](#footnote-233) и присутствии других факторов, ухудшающих качество изображения.

Чтобы подтвердить свою гипотезу, Бидерман собрал доказательства того, что человеческое восприятие объекта в большей степени зависит от неслучайных свойств, нежели от других аспектов изображения. Например, если взять линейный снимок объекта, а затем удалить половину контуров, то его восприятие будет зависеть от того, сохранились ли неслучайные свойства:

• Если удалить сегменты линий, связывающие две вершины, и оставить нетронутыми неслучайные пересечения, распознавание объекта не вызывает сложностей.

• Если удалить все неслучайные свойства, распознавание становится практически невозможным (рис. 3.7)[[234]](#footnote-234).



**Рис. 3.7.** Сложные объекты распознаются по расположению их контуров. В точках пересечения контуры образуют воспроизводимые конфигурации в виде букв T, L, Y или F. Их удаление существенно усложняет распознавание изображения (левый столбик). Удаление эквивалентного количества контуров, не затрагивающих такие соединения, не приводит к выраженным трудностям (средний столбик) (по материалам статьи Biederman, 1987). Любой организованный набор контуров, даже если он не образует единого целого, наша зрительная система автоматически воспринимает как трехмерный объект (внизу).

То же самое происходит, когда нам нужно определить идентичность двух любых объектов. Различия очевидны, если они касаются неслучайных свойств (например, «О» и цифра 8); но почти незаметны, если касаются только метрических характеристик, таких как размер (например, «О» и «о»)[[235]](#footnote-235). Бидерман, сотрудничая с нейрофизиологом Руфином Фогельсом, показал, что многие нейроны нижневисочной коры макаки игнорируют метрические искажения изображения при условии, что они не затрагивают неслучайные свойства[[236]](#footnote-236).

Таким образом, нейроны нижневисочной коры предпочитают формы, напоминающие латинские буквы T, F, Y или O, по одной простой причине: в совокупности они обеспечивают оптимальный код, который характеризуется инвариантностью относительно трансформаций изображения и позволяет представлять бесконечное множество объектов. Вполне вероятно, что позже к этому алфавиту были добавлены и другие биологически значимые формы. Например, Танака заметил, что некоторые нейроны кодируют черную точку на белом фоне – глазной детектор, очень полезное устройство для такого социального вида, как наш. Другие клетки чувствительны к очертаниям руки или пальца. В первую очередь, однако, нижневисочная кора полагается на набор геометрических фигур и простых математических инвариантов. **Большую часть букв мы вовсе не изобретали: они дремали в нашем мозгу миллионы лет и просто были открыты заново, когда человек придумал письмо и алфавит.**

### Распознавание форм

Но откуда именно берется корковый алфавит примитивных протобукв: он вписан в наши гены или возникает заново у каждого ребенка в результате процесса научения? Пока мы не знаем точного ответа на этот вопрос. Некоторые формы настолько облегчают процесс восприятия, что, вероятно, были заранее встроены в нашу зрительную систему в ходе эволюции. Уже в первые месяцы жизни младенцы чувствительны к лицам и окклюзии предметов. Следовательно, лица, глаза и Т‑образные соединения действительно могут быть частью «врожденного» лексикона форм. С эволюционной точки зрения это дало бы приматам большое преимущество, особенно в раннем взаимодействии с другими представителями своего вида и окружающей средой.

Однако трудно представить, каким образом человеческий геном, включающий максимум 30 000 генов, может содержать подробные инструкции, необходимые для программирования нейронных детекторов множества базовых форм, вплоть до профилей лица и огнетушителей! Кроме того, пластичность нижневисочной коры делает это маловероятным. Даже если мы допустим первоначальную генетическую предрасположенность, вероятно, большинство нейронов, участвующих в распознавании объектов, становятся избирательными в процессе взаимодействия со структурированной визуальной средой. Нас постоянно бомбардируют миллионы изображений, которые поставляют первичные данные для статистического алгоритма обучения мозга. В процессе развития, а возможно, и в течение всей жизни, синаптические контакты в нашей зрительной системе постоянно меняются. Эти трансформации обеспечивают оптимальное кодирование наиболее подходящих фрагментов изображений. Мы начинаем учить ребенка читать в очень раннем возрасте, когда пластичность коры находится на максимуме. Конечно, это не случайно. Погружая детей в искусственную среду букв и слов, мы, вероятно, переориентируем многие из нижневисочных нейронов на кодирование письменной речи.

Многие эксперименты показали, что нейроны постепенно настраиваются на объекты, которые учится различать обезьяна. Это происходит даже в том случае, если предметы, используемые для обучения, представляют собой бессмысленные проволочные фигуры или фракталы, формы которых очень далеки от тех, с какими животное может столкнуться в естественной среде обитания[[237]](#footnote-237). Очевидно, нейроны формируют свои предпочтения, учась обнаруживать характерные пересечения базовых элементов. Недавний эксперимент Криса Бейкера, Марлин Берманн и Карла Олсона подтверждает это предположение[[238]](#footnote-238). Исследователи научили обезьян распознавать палочки с разными фигурами на концах – например, с квадратом на одной стороне и трезубцем на другой. После тренировки несколько нейронов стали чувствительны к их точным комбинациям. Когда обезьяне показывали только один конец предмета, они реагировали слабо. Вкратце, нейронная активность при предъявлении всей картинки была больше, чем сумма реакций отдельных нейронов на каждую ее часть. Это прямое доказательство того, что клетки учатся реагировать на новые зрительные комбинации. В рамках огромного каталога возможных форм некоторые нейроны начинают срабатывать исключительно на комбинации, которые часто встречаются. В нашем нейронном инвентаре существуют и другие конфигурации, но только потенциально. Пока обезьяна им не научится, они не будут кодироваться клетками более высокого уровня.

### Инстинкт учиться

На сегодняшний день найдено столько доказательств пластичности мозга, что иногда ее считают очевидным свойством коры. В действительности способность учиться – это результат сложного эволюционного процесса. Во многих случаях обучение нежелательно – малыш, которому придется учиться дышать или кушать, долго не проживет. С другой стороны, мы рождаемся в сложном мире, который невозможно предсказать заранее, а потому все устройство нашего мозга нельзя запрограммировать предварительно. Для таких случаев эволюция придумала маленькую хитрость: способность к научению. В определенные периоды развития часть нервной системы приспосабливается к внешним ограничениям. Естественно, сам механизм научения является врожденным и в итоге управляется сложными генетическими алгоритмами. Таким образом, нет никакого противоречия в том, чтобы говорить о жестких механизмах обучения или даже об «инстинкте учиться», как однажды выразился Питер Марлер[[239]](#footnote-239). Старое противоречие между природой (наследственностью) и средой – это миф: все научение основывается на врожденных принципах, не поддающихся модификации.

Наиболее яркий пример пределов пластичности мозга – бинокулярное зрение, при котором информация, полученная от двух глаз, сливается воедино. Краткий период пластичности, длящийся несколько недель у кошек, несколько месяцев у приматов и несколько лет у людей, позволяет отрегулировать связи в первичной зрительной области. В этом случае пластичность используется для согласования зрительных карт: нейроны учатся объединять сигналы, поступающие от обоих глаз. В конце этого критического периода цепь фиксируется и впоследствии уже не меняется. У детей, страдающих косоглазием в раннем возрасте, нарушения зрения сохраняются на всю жизнь – они теряют способность воспринимать глубину из‑за небольшого расхождения между двумя изображениями (стереозрение). В этом случае природа оставила лишь очень короткий промежуток времени для развития.

Пластичность нижневисочной коры, благодаря которой мы учимся распознавать новые объекты, принципиально ничем не отличается. На всех уровнях зрительной системы наша кора заранее запрограммирована на поиск взаимосвязей в поступающих сенсорных данных и хранение полученных конфигураций. Идентичность объекта сохраняется в виде многочисленных комбинаций связей, возникающих в строго определенной совокупности нервных клеток. Вид огнетушителя, например, активирует несколько групп нейронов, которые кодируют тело, рукоятку, шланг, стандартный красный цвет и, вероятно, ряд других примитивных форм. Эта воспроизводимая комбинация активных нейронов затем сохраняется и фиксируется за счет увеличения силы синапсов, связывающих их в стабильную систему. В свою очередь, каждый из таких примитивов должен быть предварительно усвоен как совокупность элементарных признаков на более низком уровне. Таким образом, наша способность распознавать объекты в конечном счете основывается на пирамиде нейронов и иерархической схеме научения.

На вершине пирамиды возникает новая проблема. На этом уровне некоторые нейроны реагируют на несколько видов одного и того же объекта – например, на профиль лица, вид спереди или даже на имя человека (Дженнифер Энистон). Непонятно, как именно приобретается такая утонченная разновидность инвариантности. Научение на базе случайных совпадений больше не работает. Мы не можем просто взять и связать вместе нейроны, которые активны в данный конкретный момент, потому что никогда не видим все лицо и профиль одновременно (за исключением картин Пикассо).

В естественной среде различные виды одного объекта часто наблюдаются последовательно. Как один нейрон узнает, что все они соответствуют определенному объекту? Ясуси Миясита из Токийского университета описал вероятный нейронный механизм, который вполне может объяснить этот тип научения. Он показал, что некоторые клетки в нижневисочной коре чувствительны к корреляциям во времени[[240]](#footnote-240). Когда обезьяна многократно видит несвязанные фрактальные фигуры, каждая из них кодируется отдельной группой нейронов. Однако, если эти формы связаны во времени – либо потому, что они всегда появляются вместе в рамках одной и той же временной последовательности, либо потому, что представлены парами, – кора «поручает» их одним и тем же нейронам. Это означает, что один нейрон в результате начнет реагировать на два совершенно разных изображения, единственным общим свойством которых является их появление в тесной временной связи друг с другом (рис. 3.8).

Этот механизм научения может генерировать весьма абстрактные и инвариантные зрительные репрезентации. Всякий раз, когда мы видим Дженнифер Энистон – спереди или сбоку, близко или далеко, – наши височные нейроны поддерживают стабильную репрезентацию этой актрисы, даже если угол обзора постоянно меняется. Механизм временно́й корреляции может играть важную роль в процессе чтения. В частности, у него не должно возникать никаких проблем с обнаружением ассоциаций между строчными и прописными буквами, такими как «а» и «А». На гораздо более высоком уровне он может легко выявить взаимосвязь между буквами и звуками речи и таким образом внести свой вклад в становление эффективного маршрута, преобразующего графемы в фонемы.

### Нейронный рециклинг

Красота – это дар судьбы, а грамотность – ну, это уж от природы.

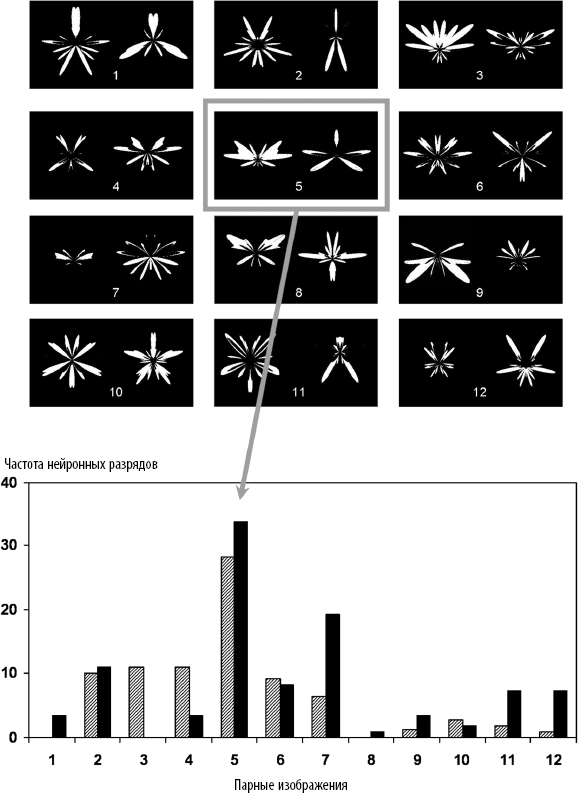
*Уильям Шекспир, «Много шума из ничего»*[[241]](#footnote-241)

Из сказанного выше очевидно, что наше зрение примата ни запрограммировано при рождении, ни лишено какой‑либо структуры вообще и брошено на произвол внешнего мира. Общая архитектура зрительной системы жестко ограничена и идентична у всех нас, но детали реакции каждого нейрона зависят от конкретных зрительных событий. Изощренные методы статистического научения позволяют нам обнаруживать закономерности внешнего мира. Наш мозг устроен так, что неслучайные свойства, такие как выравнивание нескольких полос на сетчатке, наличие Т‑ или L‑образных пересечений, повторяющаяся последовательность двух изображений, быстро извлекаются и сохраняются в корковых связях.

Инстинкт к обучению играет решающую роль в нашей способности овладеть навыком чтения. Благодаря синаптической пластичности, которая достигает пика у детей, но присутствует и у взрослых, зрительная кора может частично адаптироваться к специфическим проблемам, возникающим при распознавании букв и слов. В ходе эволюции наша зрительная система приобрела ровно столько пластичности, сколько нужно, чтобы мозг был способен научиться читать.

Когда ребенок впервые приходит в школу, его мозг уже предварительно адаптирован к распознаванию букв и слов. Как и у любого другого примата, вентральная височная кора первоклассника содержит своеобразный алфавит протобукв. Распознавание объектов осуществляется по комбинаторному принципу на базе нейронного алфавита элементарных форм, некоторые из которых очень похожи на наши буквы.

Моя гипотеза состоит в том, что **мы можем научиться читать только благодаря этой преадаптации нижневисочной коры**. Чтение было бы невозможно, если бы наша зрительная система не выполняла операции, близкие к тем, которые необходимы для распознавания слов, и не была наделена определенной степенью пластичности, позволяющей запоминать новые формы. Во время обучения в школе часть этой системы перестраивается и превращается в неплохое устройство для инвариантного распознавания букв и слов.



**Рис. 3.8.** Нейроны нижневисочной коры могут научиться реагировать на произвольные формы, такие как эти фрактальные изображения. Сакаи и Миясита (Sakai & Miyashita, 1991) обучили макак связывать эти образы в пары. После обучения отдельные нейроны начали одинаково хорошо реагировать на оба члена каждой пары. Это свидетельствовало о формировании условной ассоциации, напоминающей произвольную культурную связь между прописными и строчными буквами.

Согласно этой точке зрения, наша кора – это не чистый лист или восковая табличка, где отпечатывается любое культурное изобретение, каким бы произвольным оно ни было. Ее также нельзя считать негибким органом, который каким‑то образом в ходе эволюции посвятил один из своих «модулей» чтению. Мы могли бы уподобить нашу зрительную кору скорее конструктору Lego, с помощью которого ребенок может собрать не только стандартную модель, показанную на коробке, но и множество других.

Моя гипотеза расходится с общепринятым в социальных науках подходом «никаких ограничений», согласно которому человеческий мозг способен воспринять любую форму культуры. На самом деле природу и культуру связывают гораздо более сложные отношения. Наш геном – продукт миллионов лет эволюционной истории – определяет жесткую (хотя и частично модифицируемую) мозговую архитектуру, которая накладывает серьезные ограничения на то, чему мы можем научиться. Новые культурные изобретения могут быть приобретены только в той мере, в какой они отвечают особенностям устройства нашего мозга. Многие подобные артефакты имеют мало общего с естественным миром, в котором мы эволюционировали, – ничего в дикой природе даже отдаленно не напоминает страницу книги. Однако каждый из них должен найти в мозге свою «экологическую нишу», или нейронную цепь, выполняющую более или менее схожую функцию и обладающую достаточной гибкостью, чтобы быть перепрофилированной на новую задачу.

На ум приходит «экзаптация» – классическая дарвиновская концепция, сформулированная Стивеном Джеем Гулдом[[242]](#footnote-242). Экзаптация – это переориентация древнего биологического механизма на функции, отличные от первоначальных. Прекрасный пример – крошечные косточки в среднем ухе, которые кажутся идеально приспособленными для усиления звуковых колебаний: эволюция выточила их из челюстных костей древних рептилий. В своей часто цитируемой статье Франсуа Жакоб изобразил эволюцию как неутомимого мастера, который хранит кучи хлама на своем заднем дворе и время от времени собирает из него новые приспособления[[243]](#footnote-243). Согласно моей гипотезе, культурные изобретения возникают аналогичным образом – в результате рекомбинации древних нейронных цепей в новые культурные объекты, полезные для человека и достаточно стабильные, чтобы передаваться от одного мозга к другому.

В случае культурного научения «переделка» мозга происходит быстрее, чем при медленной биологической эволюции. Изобретение нового культурного инструмента может занять всего несколько недель или месяцев (даже если для его распространения на широкую популяцию потребуется несколько поколений). Кроме того, создание культурных объектов основывается на нейронных механизмах научения, не требующих каких‑либо изменений в геноме. Учитывая эти фундаментальные различия между биологической и культурной эволюцией, я хотел бы ввести новый термин – «нейронный рециклинг». Он позволяет качественно описать культурные изменения, которые происходят в нашем мозге[[244]](#footnote-244).

Под нейронным рециклингом я подразумеваю частичное или полное вторжение культурного изобретения на территорию коры, изначально развившуюся для другой функции. Слово «рециклинг» предполагает быстрые изменения, происходящие всего за несколько месяцев. Словарь Мерриам‑Уэбстер определяет его как «повторное прохождение через ряд изменений» и «приспособление к новому способу использования». В моем родном французском языке глагол *se recycler* употребляется в отношении студентов или сотрудников, проходящих курс повышения квалификации или осваивающих новую профессию, наиболее отвечающую требованиям рынка труда. Таким образом, нейронный рециклинг представляет собой разновидность переориентации или переподготовки: он трансформирует древнюю функцию определенной области, развившуюся в прошлом, в новую, более полезную функцию в условиях текущего культурного контекста.

Слово «рециклинг» также подразумевает, что нейронная ткань, поддерживающая культурное научение, – это не чистый лист. Она наделена свойствами, которые ограничивают сферу ее применения. Переработанное стекло или бумагу нельзя превратить в любое новое изделие. Эти материалы обладают внутренними физическими качествами, делающими их более пригодными для одних целей, чем для других. Точно так же каждая область коры или нейронная сеть, в силу своей коннективности, генетических предрасположенностей и механизмов научения, обладает внутренними свойствами, поддающимися лишь частичной модификации в процессе культуроосвоения. Если моя гипотеза нейронного рециклинга верна, то культурное научение никогда не «стирает» полностью эти существующие ранее склонности – оно просто их обходит. В результате от культурных объектов не следует ждать бесконечной гибкости и адаптируемости. Диапазон человеческой культурной вариативности определяется ограничениями наших нейронных сетей.

### Рождение культуры

Я предполагаю, что нейронный рециклинг играет важную роль в стабилизации того, что мы называем культурой, а именно совокупности общих ментальных представлений, определяющих любую заданную группу людей. Согласно эволюционному биологу Ричарду Докинзу, подобно тому, как гены воспроизводятся в процессе размножения, человеческие сообщества распространяют мемы (элементарные единицы культуры) – от рецептов лимонного пирога до более фундаментальных элементов, таких как письменность или религия[[245]](#footnote-245). Сьюзан Блэкмор, главный сторонник и популяризатор этой идеи, рассматривает человеческий мозг как «машину мемов», идеально подходящую для копирования культурных репрезентаций и их передачи от одного человека к другому[[246]](#footnote-246). Однако французский антрополог Дэн Спербер отметил, что «меметическая» модель как теория распространения культуры представляется упрощенной и ламаркистской[[247]](#footnote-247) по своей сути[[248]](#footnote-248). Она сводит детей к верным «подражателям», старательно имитирующим поведение сверстников и членов семьи. Это необходимо для обеспечения надежного воспроизведения мемов и их культурной стабильности в масштабах десятилетий или столетий. Но эта концепция пассивного подражания не выдерживает тщательного анализа. В отличие от чистого листа или ксерокса, мозг не просто делает копии своего окружения. Наши церебральные структуры жестко ограничены, и лишь небольшая доля пластичности позволяет им адаптироваться к окружающим нас культурным воззрениям.

В сущности, обучающийся мозг действует как фильтр, отбирающий и ограничивающий культурные репрезентации, подлежащие распространению. Мозг ребенка очень чувствителен к некоторым свойствам окружающей среды и чрезвычайно устойчив к другим. Так, обычные дети, если они не страдают аутизмом, не становятся календарными калькуляторами, способными мгновенно назвать день недели, на которые выпала та или иная дата, хотя западная культура, в отличие от многих, буквально одержима хронометрией. С другой стороны, в первые месяцы жизни все дети быстро учатся распознавать лица, голоса, родной язык и чувство сопереживания другим – эти способности могут быть приобретены даже в условиях сильнейшей сенсорной депривации[[249]](#footnote-249). Гипотеза нейронного рециклинга вполне логично подводит нас к утверждению существования «культурных аттракторов» – общих универсальных фокусов знаний, объясняющих стабильность ключевых особенностей человеческой культуры и предотвращают дрейф, который неизбежно бы возник, если бы дети просто пытались подражать своим сверстникам.

У человека одним из главных факторов, содействующих культурному отбору, является его интенциональный характер. Другими словами, сознание человека имеет свойство быть направленным на некоторый предмет. Как подчеркивал приматолог Дэвид Премак, *Homo sapiens* – единственный примат, обладающий чувством педагогики. Только люди уделяют пристальное внимание знаниям и психическому состоянию окружающих, чтобы их обучение протекало как можно эффективнее. Мы не только активно передаем культурные объекты, которые считаем наиболее полезными, но и – что особенно очевидно в случае письма – намеренно их совершенствуем. Более 5000 лет назад писцы обнаружили необычайный потенциал, заложенный в наших мозговых сетях: возможность передачи языка через зрение. Последующие поколения довели эту первоначальную идею до совершенства. Длинная цепь традиций обучения связывает нас с этими ранними творцами, приложившими все силы к тому, чтобы их изобретение легче воспринималось зрительной системой, доставшейся нам от приматов.

В конечном счете, по мнению Дэна Спербера, воспроизводство культурного изобретения имеет больше сходств с эпидемией, нежели с процессом имитации. Как вирусы беспрерывно атакуют нашу иммунную систему, так и огромное разнообразие культурных представлений постоянно привлекает наше внимание. Лишь некоторые из этих культурных объектов становятся эндемичными: они находят отклик в нашем мозге почти так же, как вирус обнаруживает брешь в нашей системе защиты. Всякий раз, когда это происходит, мы активно и намеренно передаем эти культурные изобретения другим. Скорость этого процесса зависит от эффективности обучения. По большому счету устойчивые культурные репрезентации, определяющие саму суть человеческой группы, – это представления, которые быстро интегрируются в архитектуру человеческого мозга, поскольку находят отклик в уже существующих цепях, способных к нейронному рециклингу.

Когда новое культурное изобретение находит свою нейрональную нишу, оно может быстро размножиться и захватить всю популяцию. Наступающий после этого период культурной стабильности продолжается ровно до тех пор, пока устоявшееся равновесие не нарушит очередное открытие. Именно так появляются, распространяются и постепенно отмирают культуры.

Как мы увидим далее, **метафора культурной эпидемии отлично подходит для письменности**: первичные источники инфекции возникли в Плодородном полумесяце (древний Шумер), Китае и Южной Америке, а избирательные периоды распространения чередовались с длительными периодами застоя. Если чтение сумело завладеть человеческим разумом настолько, что теперь составляет характерную особенность нашей грамотной культуры, то это потому, что оно нашло свою естественную нишу в затылочно‑височной коре и ее связях. Способность этой области распознавать слова и передавать информацию о них другим отделам мозга – результат эволюционного процесса, протекавшего в два этапа:

• Первый этап: медленное формирование эффективных механизмов инвариантного распознавания объектов в ходе эволюции млекопитающих.

• Второй этап: быстрая культурная адаптация систем письменности к этой корковой нише в ходе культурной эволюции за последние 5000 лет.

Согласно этой точке зрения, область «буквенной кассы» развилась для распознавания естественных образов, но не букв и слов. Тем не менее эволюция наделила ее способностью учиться, благодаря которой она может превращаться в считывающее устройство. Все существующие системы письменности фактически используют элементарные формы, которые способна репрезентировать эта область.

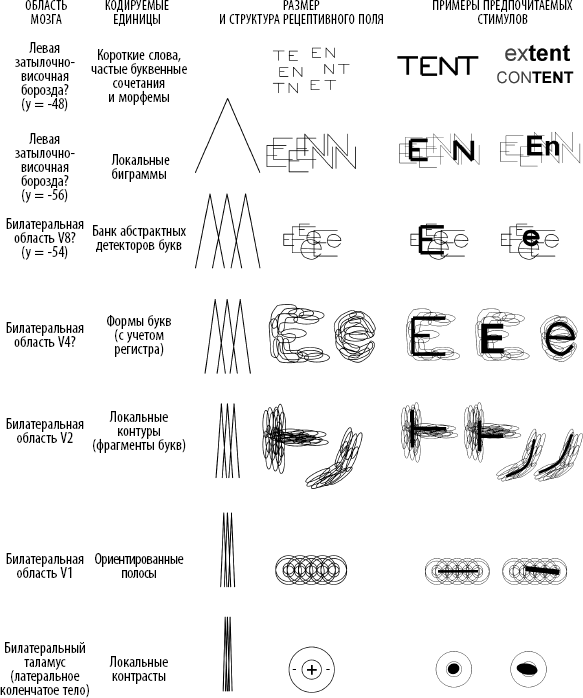
Итак, кора вовсе не формировалась специально для письма – для этого не было ни времени, ни достаточного эволюционного давления. Скорее, это письменность развивалась с целью соответствовать особенностям коры – так, чтобы даже мозг примата мог с легкостью ее усвоить.

### Нейроны для чтения

Если нейронные сети, изначально предназначенные для зрительного распознавания объектов, адаптируются к овладению чтением, то нам по‑прежнему нужно убедительное описание того, как клетки в области «буквенной кассы» распознают написанные слова менее чем за одну пятую доли секунды. Какой тип нейронного кода записан в коре опытного читателя? Присваиваются ли каждой букве, слогу и слову свои собственные нейроны? Как эти клетки располагаются на поверхности коры?

Детальная карта нейронов, отвечающих за чтение, пока не составлена. В настоящее время средства визуализации человеческого мозга не могут распознать отдельные клетки. Однако наши обширные знания о мозге других приматов позволяют строить предположения о природе нейронного кода для чтения. Хотя большинство теоретических моделей сильно недооценивают истинную сложность нервной системы, они могут послужить основой для новых экспериментальных работ и привести к изобретению новых методов нейровизуализации. Исходя из этого, я и мои коллеги предложили предварительную модель нейронной архитектуры для чтения (рис. 3.9)[[250]](#footnote-250).

В основу нашей модели положен хорошо известный факт, что вентральная зрительная система организована в виде иерархии, охватывающей область от затылочного полюса в задней части мозга до передних отделов височной доли. Как я уже объяснял, при переходе с одного иерархического уровня на следующий размер рецептивного поля нейронов увеличивается в два‑три раза. Это означает, что они реагируют на все более крупные участки сетчатки. Параллельно с этим возрастает и сложность элементов, вызывающих возбуждение нейронов, а также их стабильность относительно размера, положения и освещения.



**Рис. 3.9.** Гипотетическая модель нейронной иерархии, поддерживающей зрительное распознавание слов. На каждом следующем уровне нервные клетки учатся реагировать на сочетание реакций нейронов предыдущего, более низкого уровня. В нижней части пирамиды, обеспечивающей распознавание слов и изображений, клетки обнаруживают локальные контрасты и ориентированные полосы. По мере того как мы поднимаемся выше, специализация нейронов возрастает. Они обнаруживают буквы, пары букв (биграммы), затем морфемы и маленькие слова. На каждой стадии рецептивное поле расширяется в два‑три раза. Клетки начинают реагировать независимо от положения слова и деталей изображения (по материалам статьи Dehaene et al., 2005). *Использовано с разрешения Trends in Cognitive Science.*

Теперь представим, как могла бы измениться эта нейронная архитектура, если бы ее постоянно бомбардировали письменные слова. Предположим, что ее основная задача состоит в извлечении наиболее выраженных закономерностей из поступающих зрительных сигналов. На входе, в первичной зрительной коре (V1), нейроны относительно просты: они распознают только линии в узком поле сетчатки глаза. Как впервые обнаружили Хьюбел и Визель, любой нейрон в пределах ограниченной зоны сетчатки, на которую он реагирует, предпочитает вид маленькой черты любому другому зрительному стимулу. Поскольку буквы и слова состоят из таких линий, можно с уверенностью полагать, что овладение чтением не ведет к фундаментальным изменениям в схеме первичного кодирования. Большая часть нейронного рециклинга, вероятно, происходит на более высоком уровне – в области, записывающей сложные свойства зрительного образа. Однако не исключено, что даже самые первые стадии зрительной обработки претерпевают изменения в мозге опытных читателей. Область V1 вполне может обрабатывать такие распространенные формы, как T и X. И действительно, лабораторные эксперименты как на обезьянах, так и на взрослых людях показали, что интенсивная тренировка может влиять даже на ранние стадии зрительной обработки в первичной зрительной коре[[251]](#footnote-251). Овладение навыком чтения в раннем возрасте, когда мозг ребенка максимально пластичен, вероятно, вызывает аналогичные изменения.

Впрочем, большинство букв, судя по всему, кодируются нейронами в следующих двух областях – V2 и V4. Объединяя несколько элементарных линий, нейроны в зоне V2 действуют как элементарные детекторы контуров. На следующем уровне, в области V4, комбинации этих наборов позволяют нейронам избирательно реагировать на простые формы, которые, предположительно, включают в себя буквы. Еще до овладения чтением многие нейроны кодируют такие конфигурации, как T, L, X или O. Имея подобный алфавит элементарных форм в качестве отправной точки, научиться идентифицировать другие буквы очень просто. По всей вероятности, усвоение букв начинается в передних отделах вентральной височной коры. Именно здесь Танака обнаружил корковые колонки, реагирующие на заученные формы у макаки. Позже, когда чтение становится более автоматическим и мы учимся читать очень мелкий шрифт, процесс идентификации может постепенно вернуться в задние части мозга[[252]](#footnote-252).

Если нейроны в области V4 распознают только единичные сочетания кривых, они могут кодировать только один вариант буквы. Как же мы узнаем, что одна и та же буква может появляться и в верхнем, и в нижнем регистре? Мои коллеги и я предполагаем, что это абстрактное знание возникает не в области V4, а на следующей стадии. Это происходит путем объединения реакций нескольких детекторов V4. Согласно нашей модели, верхний и нижний регистры распознаются как версии одной и той же буквы – вывод, требующий культурного научения, – в зрительной области V8 в обоих полушариях. Как показывают эксперименты с использованием фМРТ, этот участок мозга действительно способен обнаруживать повтор букв, напечатанных в верхнем или нижнем регистре.

Помните, что на каждом уровне пространственная терпимость нейронов возрастает: по мере того, как они объединяют реакции от многочисленных детекторов с разными рецептивными полями, их отклики становятся менее чувствительными к изменениям местоположения и размера (рис. 3.9, правый столбец). Однако в области V8 инвариантность остается неполной и не распространяется на всю сетчатку. Следовательно, детекторы букв должны присутствовать во всех точках, где могут появляться буквы во время чтения. Вероятно, существуют десятки нейронных колонок, кодирующих букву «А», каждая из которых реагирует только в том случае, если она занимает строго определенное место на сетчатке.

### Биграммные нейроны

Следующий уровень образуют клетки, чувствительные к сочетаниям букв. Такие нейроны, например, могут сигнализировать о наличии буквы «N» через одну или две буквы слева от «А». Это очень полезная функция, если нужно различить одинаковые буквенные цепочки, такие как «AND» и «DNA»[[253]](#footnote-253).

Если следовать нашему простому эмпирическому правилу, то на каждом шаге размер рецептивного поля необходимо умножать на два или три. В таком случае логично ожидать, что нейроны, отвечающие за комбинации букв, должны кодировать группы из одной, двух или трех букв. Чем пары букв лучше? Чтобы ответить на этот вопрос, давайте разберемся, как нервная система решает проблему инвариантности, избирательности и максимизации информации, передаваемой каждым отдельным нейроном. Нейрон, реагирующий на триплет букв, сработает только тогда, как все три буквы окажутся в одном месте. Если так, то он сможет передавать лишь очень ограниченный фрагмент информации, непригодный для чего‑либо, кроме нескольких слов (например, артикля «the» или отрицательной частицы «not»). Нейрон, который кодирует только одну букву в любой из трех возможных позиций, напротив, будет активироваться часто, но ничего не сообщит о ее положении в общей цепочке.

Исходя из этого, я и мои коллеги предположили, что оптимальной буквенной комбинацией, на которую должны реагировать нейроны, является биграмма – упорядоченная пара букв, например «Е» слева от «N». Настроить нейрон так, чтобы он избирательно откликался на эту пару букв, но мог допускать некоторый сдвиг в их расположении, относительно легко. Как показано на рис. 3.9, для этого нужно собрать активацию от нескольких частично пересекающихся детекторов букв «Е» и «N». При этом буквы «Е» должны появляться в основном слева, а «N» – справа. В этом случае полученный биграммный детектор «EN» будет характеризоваться большей инвариантностью относительно местоположения, чем любой из его базовых буквенных детекторов.

Если биграммные нейроны именно так и работают, они должны допускать присутствие нескольких промежуточных букв, вставленных между двумя предпочтительными буквами. Например, детектор биграммы «EN» должен реагировать не только на слова «enter», «rent» и «hen», но и на слова «mean» и «fern», в которых между «e» и «n» проскальзывает третья буква. Это свойство проистекает из самой структуры рецептивных полей биграммных нейронов. Чтобы приспособиться к сдвигам в линейке слов, эти нейроны должны собирать сигналы от целого ряда буквенных детекторов предыдущего уровня. Поскольку их рецептивные поля распределены по части сетчатки, они не способны обнаружить присутствие одной или двух промежуточных букв. Следовательно, биграммные нейроны должны реагировать на заданную пару букв даже в ее расширенной версии. Их реакцию лучше всего можно описать как предпочтение «открытой биграммы», или специфической пары букв, возможно, разделенной одной или двумя не связанными с ней буквами.

Никто никогда не видел биграммных нейронов. Их существование – это разумное предположение, основанное на наших знаниях о зрительной системе приматов. На сегодняшний день они представляют собой сугубо теоретическую конструкцию, которая не может быть проверена непосредственно, так как наши методы визуализации еще слишком примитивны. Таким образом, биграммные нейроны столь же гипотетичны, как нейтрино в 1930 году. Предположив существование этой частицы, Паули с грустью отметил, что в целом ее невозможно обнаружить (впервые ее наблюдали 26 лет спустя).

Почему серьезные ученые предлагают, казалось бы, безосновательные и спекулятивные теории, подобные этим? Хотя в настоящее время их нельзя ни доказать, ни опровергнуть, они играют двойственную роль: подготавливают почву для будущих исследований и обеспечивают связность уже проведенных экспериментов. Один из самых приятных моментов в научной деятельности – момент, когда ученый осознает, что из его теоретических конструкций вытекает конкретный прогноз, в точности соответствующий экспериментальным данным. Ничто так не укрепляет нашу уверенность, как модель, подтвержденная исследованиями разных направлений. В нашем случае оказалось, что Джонатан Грейнджер и Кэрол Уитни, работая с совершенно иными данными, выдвинули аналогичную гипотезу о кодировании письменных слов перечнем биграмм[[254]](#footnote-254). Они пришли к этому заключению, когда искали абстрактный код, объясняющий восприятие похожих слов. Их экспериментальные наблюдения на удивление хорошо согласуются с нашей гипотезой о биграммных нейронах. Как и в случае с нейтрино, хочется надеяться, что наше предположение не только прольет свет на ряд экспериментальных загадок, но и поможет преодолеть разрыв между двумя ранее не связанными дисциплинами – нейрофизиологией и психологией чтения.

В рамках целой серии экспериментов, посвященных эффекту прайминга, Грейнджер и Уитни изучали, ускоряет ли предъявление одной буквенной цепочки чтение второй. Например, слово «garden» (*англ.* «сад») облегчает чтение слова «GARDEN». Это говорит о том, что эти комбинации букв имеют общий код. На самом деле, чтобы наблюдать эффект прайминга, вовсе не обязательно повторять все буквы слова. Предъявление подмножества букв – например, «grdn» – так же ускоряет чтение «GARDEN», как и слово «garden». Контрольные цепочки, в которых буквы перемешаны или же добавлены новые – например, «gtrdvn» или «dngr», – напротив, эффекта прайминга не вызывают[[255]](#footnote-255). Это означает, что на некоторой стадии обработки цепочки «grdn» и «GARDEN» имеют одинаковый код, а «dngr» – нет. Очевидно, этот код устойчив к удалению нескольких букв, но чувствителен к их порядку. Дополнительные эксперименты показывают, что он невосприимчив и к инверсии двух последовательных букв. В результате цепочка «bagde» ускоряет чтение последующего слова «BADGE» (*англ.* «значок, бейдж») так же эффективно, как слово «badge»[[256]](#footnote-256).

Вышеописанные наблюдения явно противоречат моделям чтения, согласно которым цепочки кодируются как наборы букв[[257]](#footnote-257). С этой точки зрения «bagde» и «badge» должны отличаться друг от друга так же, как «barte» и «badge»: в обоих случаях различны две буквы из пяти. Но это не так. Цепочки «bagde» and «badge» *очень* похожи – настолько, что их часто путают. Вот пример из реальной жизни: бренд *French Connection UK* с гордостью печатает на всех своих свитерах и футболках аббревиатуру «FCUK». Владельцы компании, без сомнения, считают этот акроним привлекательным: как выяснилось, мозг покупателя автоматически связывает ее с нецензурным английским словом! Этот абстрактный эффект сходства настолько выражен, что мы с легкостью четаим цлыее пердложинея, в коротых пеперунаты вес бвукы в солвах, комре певрых и псолиднех[[258]](#footnote-258).

Разумеется, должен существовать некий устойчивый код, способный противостоять такой алфавитной путанице. Пытаясь разгадать эту загадку, Грейнджер и Уитни пришли к идее открытых биграмм. Они предположили, что слова могут кодироваться не как перечень букв, а как перечень *пар* букв. Согласно предложенной ими схеме, слово «badge» кодируется десятью биграммами: BA, BD, BG, BE, AD, AG, AE, DG, DE и GE. Если две последовательные буквы поменять местами, как в «bagde», то меняется только одна биграмма (DG превращается в GD), то есть всего 10 % кода. Поскольку остальные 90 % совпадают, неудивительно, что мы легко можем прочесть «bagde» как «badge». При замене или добавлении несущественных букв – как, например, в «barte» – код меняется сильнее. Количество общих биграмм в цепочке «barte» и слове «badge» составляет всего 30 %, что объясняет отсутствие эффекта прайминга. Инверсия или удаление нескольких букв влияет на код в меньшей степени, чем вставка неподходящих букв. Цепочка «grdn» содержит все биграммы слова «garden», а цепочка «gtrdvn» – меньше половины. Именно устойчивость биграммного кода к частичным удалениям и локальным инверсиям объясняет нашу способность чатить пердложинея, в коротых бвукы песерталвены мсетами.

Еще одно преимущество биграммного кода заключается в том, что он нечувствителен к изменениям местоположения и размера. Даже если мы переместим, увеличим или уменьшим слово «badge», «b» останется слева от буквы «d», а «d» – слева от «e». Другими словами, на биграммы не влияет точное расположение и размер письменного слова. Такая схема кодирования гарантирует инвариантность.

На основании вышеописанных наблюдений Грейнджер и Уитни заключили, что письменные слова кодируются исчерпывающим перечнем составляющих их биграмм. Однако тщательный анализ показывает, что с этим выводом есть несколько проблем. Во‑первых, он предполагает, что мы должны легко читать слова, буквы в которых сильно разрежены, даже нерегулярным образом. В самом деле, подобная трансформация сохраняет все биграммы и даже делает порядок букв более очевидным. И все же воспринимать эти цепочки нелегко. Другая загвоздка заключается в том, что список биграмм неоднозначен, поскольку не присваивает уникальный код каждому слову. Например, слова «nana» и «anna» содержат один и тот же набор биграмм: АА, NN, AN и NA. Если бы наша зрительная система обращала внимание только на биграммы, мы бы не могли их различать, зато легко воспринимали бы такие маловероятные комбинации букв, как «naananan», составленные из тех же биграмм, что и слово «anna».

К счастью, на помощь теории Грейнджера и Уитни приходят биологические свойства биграммных нейронов. Биграммный нейрон не может реагировать на свою пару букв независимо от того, где она появляется на сетчатке. Как и у любого другого нейрона, его рецептивное поле ограниченно. Как следствие, биграммный код характеризуется пространственной избирательностью и должен быть воспроизведен в нескольких точках зрительного поля. Например, некоторые биграммные нейроны реагируют на буквенную пару NA в начале слова «nana», но не в конце. Это значит, что в таком случае они не сработают на стимул «anna», поскольку в этом слове буквы «na» выходят за пределы их рецептивных полей. В совокупности биграммные нейроны присваивают каждому слову уникальный код.

Гипотеза локальных детекторов биграмм объясняет, почему увеличение расстояния между буквами приводит к снижению скорости чтения. Так как на каждой последующей ступени зрительной пирамиды рецептивные поля нейронов увеличиваются в два‑три раза, биграммные детекторы допускают лишь небольшой пространственный сдвиг составляющих биграмму букв – не больше двух‑трех символов (см. рис. 3.9). В силу такого ограничения биграммные нейроны срабатывают только в том случае, если расстояние от первой буквы пары до второй не превышает двух символов. Например, нейрон, кодирующий пару АМ, будет реагировать на слова «ham», «arm» и «atom», но не на слова «alarm» или «atrium».

Отсюда вытекает простой прогноз: при постепенном увеличении расстояния между буквами скорость чтения должна оставаться неизменной при умеренном разреживании, но она резко снизится, как только интервал достигнет двух символов. Фабьен Винкье, Лоран Коэн и я подтвердили это правило экспериментально. **Как только расстояние между буквами превышает два символа, распознавание слов перестает быть быстрым и параллельным**[[259]](#footnote-259). Вы можете проверить это на себе. В следующих предложениях интервал между буквами постепенно увеличивается. Биграммные нейроны легко выдерживают интервалы в одну и даже полторы буквы. Однако как только расстояние достигает двух символов, быстрое чтение становится невозможным. Вы словно разучились читать – биграммные нейроны в вашей «буквенной кассе» перестали реагировать!

### Нейронное дерево слова

Если биграммные нейроны действительно существуют, какую разновидность нейронного кода логично ожидать на следующей ступени зрительной пирамиды? Соединяя несколько биграмм, нервные клетки, расположенные выше в иерархии, должны реагировать на сложные комбинации букв. Предположительно, их рецептивные поля позволяют им обнаруживать цепочки до пяти букв на родном языке читателя. Какие именно цепочки кодируются в первую очередь, в основном остается предметом спекуляций. В главе 1 мы убедились, что процесс чтения осуществляется по двум параллельным путям – от букв к звуку и от букв к смыслу. Следовательно, зрительные нейроны более высокого порядка должны извлекать последовательности букв, значимые для того или иного маршрута. Одни нейроны будут срабатывать на частые графемы, соответствующие определенным звуковым паттернам, такие как «ough», «ain» или «ing». Другие должны реагировать на короткие служебные слова («but», «then», «have»), корни слов (think‑, giv‑), префиксы (anti‑, pre‑) или суффиксы (‑ing, – tion, – ese). Именно на этом уровне разумно ожидать кодирования морфем – наименьших языковых единиц, обладающих семантическим значением.

Однако нельзя забывать, что на этой стадии зрительную систему интересует только написание. Все, что она делает, – это обнаруживает частые буквенные цепочки, передающие информацию, необходимую для понимания и произношения. Моя нейронная модель предсказывает, что «псевдоморфемы» – цепочки символов, похожие на корень слова, но на самом деле не имеющие никакого отношения к его значению, – извлекаются точно так же, как и реальные морфемы. Наша зрительная система должна слепо разбивать слово «department» на префикс de‑, корень – part‑ и суффикс – ment и помещать его вместе с такими словами, как «part», «depart» и «departure», даже если они означают совсем другие вещи. Многочисленные эксперименты подтверждают: такая декомпозиция действительно происходит, причем как у носителей как французского, так и английского языков. Извлечение приблизительного дерева слова – настолько автоматическая и бессознательная операция в зрительном распознавании, что предъявление слова «hard» может облегчать чтение семантически несвязанного, но внешне похожего «hardly»[[260]](#footnote-260).

В главе 1 я подчеркивал, что слова напоминают иерархические деревья, где листья – это буквы, а ветви – различные комбинации букв, извлекаемые нашей зрительной системой. Такая схема совпадает с анатомическим деревом, состоящим из миллионов нейронов «буквенной кассы» и их миллиардов взаимосвязей. Каждый из них вносит свой небольшой вклад в распознавание слов, начиная от детекторов линий и заканчивая нейронами, чувствительными к биграммам и морфемам. Нигде в этой корковой иерархии слово не представлено одним‑единственным нейроном. На каждом уровне множество активных клеток репрезентирует набор признаков, которые в совокупности рисуют пуантилистский[[261]](#footnote-261) портрет письменного слова. Как и столетний дуб, нейронное дерево хорошо структурировано, но при этом оно гибкое и способно противостоять изменениям в естественной среде. Сдвиг слова на сетчатке подобен порыву ветра: он шевелит листья и мелкие сучки, но не затрагивает ствол и главные ветви. В результате нейронное дерево, представляющее слово, сохраняет стабильность при изменении размера, положения, формы и даже локального порядка составляющих его букв.

Нейронное дерево, представленное на рис. 3.9, с его четкой иерархической структурой, вероятно, слишком упрощено и не отражает выраженную избыточность нашей нервной системы. Ради простоты я учитывал только возбуждающие связи. На самом деле некоторые нейроны не задействуют, а, наоборот, тормозят своих соседей, подавляя их активность. Ингибиторные связи могут играть важную роль в распознавании слов – например, сигнализировать об отсутствии определенной буквы во входной цепочке. Кроме того, я исходил из идеи, что каждый нейрон образует синапсы только с клетками следующего уровня. Однако в настоящей нервной системе существуют не только восходящие, но и так называемые латеральные (горизонтальные) связи, которые соединяют нейроны в *пределах* одной зрительной зоны. В первичной области V1 такие связи помогают активным нейронам поддерживать друг друга, когда все они голосуют за одну зрительную интерпретацию (например, когда нервные клетки кодируют разные участки одного и того же контура). На уровне букв и биграмм латеральные связи могут кодировать вероятные отношения между последовательными буквами – например, закономерность, что за «q» почти всегда следует «u».

Наконец, мы не должны забывать, что зрительная кора содержит огромное количество «нисходящих» проекций, соединяющих конкретную область с *предшествующей* ей в зрительной иерархии. Эти обратные связи могут заранее отбирать определенные сочетания букв в зависимости от контекста и содействовать устранению двусмысленностей, особенно при декодировании рукописных слов. Текст, написанный от руки, часто невозможно расшифровать последовательно. Вспомните предложение **«**На шерраее шуршиш оеенняя лисшва**»**. В словах «террасе» и «осенняя» буквы «с» и «е» имеют одинаковую форму. В таких случаях идентификация букв осуществляется *после* определения слова, а не до него. При поддержке контекста слово «осенняя», вероятно, посылает нисходящий голос в пользу букв «e» и «c»[[262]](#footnote-262). Постоянное взаимодействие нисходящих и восходящих связей обеспечивает нейронное воплощение идеи «пандемониума» Селфриджа, о котором мы говорили в главе 1. **Совокупности нейронов ведут себя как собрание демонов: они посылают сообщения во всех направлениях, передавая друг другу фрагментарные данные, пока вся группа не придет к согласию.**

### Сколько нейронов нужно для чтения

Может показаться, что иерархическая модель, которую я только что описал, ведет к резкому увеличению числа нейронов, необходимых для чтения. Если каждая стадия в нашей зрительной системе воспроизводит все возможные нейрональные комбинации на предыдущем этапе, количество требуемых нейронов должно выходить за все разумные пределы. К счастью, это не обязательно так.

Простые решения комбинаторной задачи, которую ставит моя модель, действительно существуют. С одной стороны, на каждом этапе обработки нейроны должны извлекать только те комбинации букв, которые встречаются часто и важны для чтения – то есть небольшое подмножество всех возможных сочетаний букв. На уровне биграмм, например, должны существовать специальные детекторы для пары EN, которая типична для английского языка, но едва ли зрительная система станет выделять нейроны для пар, которые никогда не встречаются, например QR или JB. Недавно фМРТ подтвердила эту гипотезу: чем выше употребляемость биграммы, тем сильнее активация «буквенной кассы»[[263]](#footnote-263). Это объясняет, почему эта область интенсивнее реагирует на слова и правдоподобные псевдослова, такие как «enchible», чем на случайные цепочки согласных, например «zhgsieq»[[264]](#footnote-264).

С другой стороны, чем выше уровень, тем сложнее комбинации зрительных признаков, на которые реагируют нейроны. Их инвариантность возрастает, а потому они могут игнорировать другие различия, несущественные для чтения. Расхождение между прописными и строчными буквами, например, перестает иметь значение уже на ранних этапах зрительной обработки (предположительно в области V8 и далее). Аналогичным образом, для биграммных нейронов большее число возможных пар букв компенсируется уменьшением количества кодируемых позиций, поскольку рецептивные поля нейронов увеличиваются на каждой стадии.

Также мы должны иметь в виду, что в процессе чтения релевантные слова всегда попадают в узкую область зрительного поля, расположенную близко к центральной ямке и в основном справа от нее. Когда мы учимся читать, только те нейроны, которые кодируют эти локации, получают возможность преобразоваться в детекторы букв и биграмм. И действительно, только те слова, которые представлены в центре взгляда (или немного справа от него) и расположены под углом, близким к горизонтальному, эффективно обрабатываются вентральным затылочно‑височным путем[[265]](#footnote-265). Таким образом, число задействованных нейронов относительно невелико.

Можем ли мы приблизительно прикинуть площадь коры, необходимую для зрительного распознавания слов? Если учесть, что в латинском алфавите насчитывается 26 букв, каждая из которых может появиться в одном из 20 сегментов сетчатки, то для первоначального банка детекторов букв требуется примерно 500 колонок нейронов. При 10 колонках на квадратный миллиметр эта стадия обработки должна занимать не больше половины квадратного сантиметра коры. Рассмотрим следующий уровень. Если предположить, что биграммные нейроны кодируют только три приблизительных локации (начало, середину и конец слова) и что 200 наиболее распространенных биграмм достаточно для представления большинства слов, мы получим аналогичные цифры – около 600 колонок биграммных нейронов, то есть примерно 1/2 квадратного сантиметра. На третьем уровне биграммы объединяются в более длинные цепочки. По всей вероятности, для представления нескольких десятков тысяч слов, написание которых хранится в памяти, хватит набора из 500 префиксов, суффиксов, корней и сложных графем. В этом случае мы снова получаем 1/2 квадратного сантиметра коры.

Из этих расчетов, пусть и очень приблизительных, вытекает простой прогноз: независимо от того, как именно кодируются слова (буквами, биграммами или морфемами), каждая из этих репрезентаций должна занимать примерно одинаковую площадь на поверхности коры – 1/2 квадратного сантиметра. Это приблизительно соответствует кругу диаметром около восьми миллиметров. Таким образом, по мере продвижения информации от одного уровня к следующему активный участок зрительной коры должен смещаться вперед на восемь миллиметров (рис. 3.9). Эту гипотезу подтверждают нейровизуализационные исследования. Чтение активирует узкую полосу коры длиной в несколько сантиметров, простирающуюся от задней части мозга до переднего отдела левой затылочно‑височной борозды. Функциональные подразделения в этой полосе не обнаружены[[266]](#footnote-266). Очевидно, чем ближе к передней части мозга, тем абстрактнее нейронный код.

Разумеется, эта грубая оценка количества нейронов, необходимых для чтения, не учитывает сразу несколько факторов. Как установил Кейдзи Танака, соседние клетки *внутри* корковой колонки могут кодировать варианты одной и той же базовой формы. Например, соседние нейроны обезьяны, вероятно, кодируют диск, эллипс и объект в форме картофелины. Если эту идею применить к чтению, можно предсказать существование «комбинаторных колонок», нейроны которых должны кодировать, например, все возможные комбинации одного согласного и разных гласных («та», «те», «ти», «то», «ту» и так далее) или наоборот («са», «на», «та», «ра», «ла», «ка»). Будь оно так, код был бы настолько компактным, что для воспроизведения любого письменного слова хватило бы нескольких десятков корковых колонок. За счет экономии коркового пространства это решение допускает смешение нейронных колонок для слов, объектов и лиц. Томография головного мозга и внутричерепные записи свидетельствуют о том, что предпочтения любой заданной области коры редко носят категориальный характер[[267]](#footnote-267). Таким образом, область «буквенной кассы», вероятно, включает в себя смесь корковых колонок: одни реагируют только на буквы, тогда как другие – на буквы, лица, инструменты и множество других зрительных форм[[268]](#footnote-268).

Вкратце, предложенная мной схема отлично вписывается в площадь коры, доступную для зрительного распознавания слов. Избежать резкого увеличения числа нейронов, посвященных чтению, возможно. Все, что нужно, – это эффективный механизм научения, экономно распределяющий нейроны между наиболее частыми, информативными и инвариантными комбинациями букв.

### Симуляция читающей коры

По всей вероятности, точное представление о нейронной архитектуре для чтения можно получить только одним способом: смоделировать формирование этого навыка на компьютере, строение которого напоминает структуру коры. Однако в настоящее время такая симуляция остается недостижимой мечтой. Чтобы воспроизвести воздействие тысяч часов чтения на миллионы нейронов в области «буквенной кассы», требуется суперкомпьютер, гораздо более мощный, чем любая из машин, существующих на сегодняшний день. Пока мы можем только надеяться, что прогресс в области вычислительной техники, наряду с появлением новых компьютеров, предназначенных для моделирования нейронных сетей, в результате позволит создать адекватную модель читающего мозга.

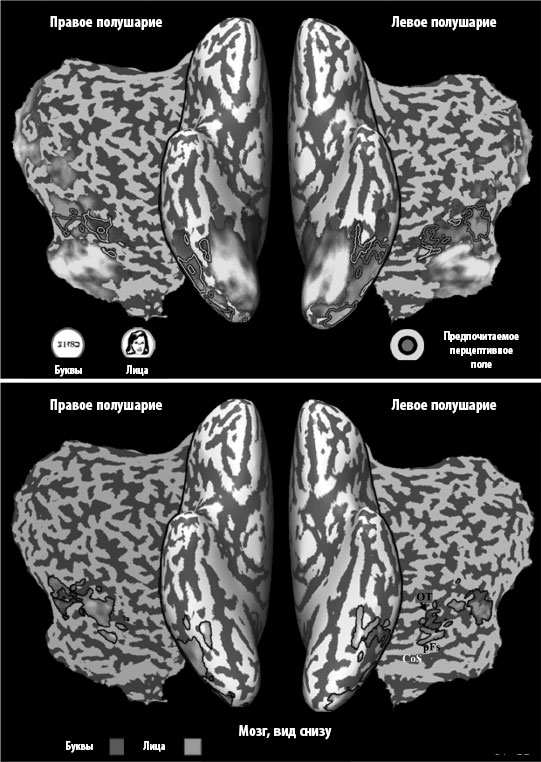
Тем временем стоит задуматься о том, как такая симуляция могла бы объединить огромное количество существующих систем письменности. В принципе архитектура мозга, читающего латинский алфавит, должна быть применима и к китайским иероглифам. Под влиянием китайского языка в нем должны развиться нейроны, настроенные на часто встречающиеся символы и их внутренние компоненты. В самом деле, большинство иероглифов содержат ограниченное количество семантических и фонетических маркеров, состоящих из нескольких стандартизированных штрихов – встроенного набора зрительных закономерностей, которые легко может уловить иерархический алгоритм обучения. Поведенческие эксперименты показывают, что чтение китайских символов основывается именно на такой иерархической и комбинаторной схеме[[269]](#footnote-269). Что касается китайских аналогов биграммных нейронов, то пока они не открыты.

Вероятно, что даже у читателей латинского алфавита нейроны со временем становятся чувствительны к единицам разного размера. Для языков с прозрачной орфографией, например итальянского, достаточно относительно скромного запаса детекторов букв и биграмм. Языки с непрозрачной орфографией, такие как английский или французский, напротив, требуют гораздо большего количества нейронов для кодирования таких больших и сложных орфографических единиц, как «ough», «tion» или «ould»[[270]](#footnote-270). Подобные зрительные закономерности, выходящие за пределы уровня букв, могут быть извлечены только на высших уровнях зрительной иерархии. Таким образом, наша модель предсказывает, что чтение на английском языке, в отличие от чтения на итальянском, должно задействовать области не только более обширные, но и расположенные ближе к передним отделам мозга. Именно это наблюдали Эральдо Паулесу и его коллеги (см. рис. 2.20)[[271]](#footnote-271). То же справедливо и для японского языка: различия в мозговой активности, вызванной словами на кандзи (требующей запоминания тысяч иероглифов) и кане (содержащей всего 46 слогов), могут быть объяснены заучиванием символов, размер и сложность которых разительно отличаются друг от друга[[272]](#footnote-272).

### Предпочтения нейронов и их роль в чтении

Хотя сегодня мы знаем, что процесс овладения чтением систематически задействует одну и ту же область коры, причина столь точной локализации до сих пор окутана тайной. Почему область «буквенной кассы» всегда расположена в левом полушарии и почему это верно для всех читателей и систем письменности? Что позволяет этой области обособиться от других зон, участвующих в распознавании объектов и лиц?

Хотя зрительная кора наделена значительной пластичностью, она не является «чистым листом», на котором отпечатываются результаты научения[[273]](#footnote-273). Сам факт того, что она организована в воспроизводимые субтерритории, расположение которых одинаково у всех людей, подразумевает, что она не эквипотентна. Что же формирует зрительный мозг читателя и объясняет стабильную локализацию процесса чтения? Очевидно, весь секрет в ранних предрасположенностях задействованных нейронов. По всей вероятности, будущим детекторам букв и биграмм изначально присущи особая зрительная чувствительность и проекции на речевые центры, делающие их особенно подходящими для овладения чтением.



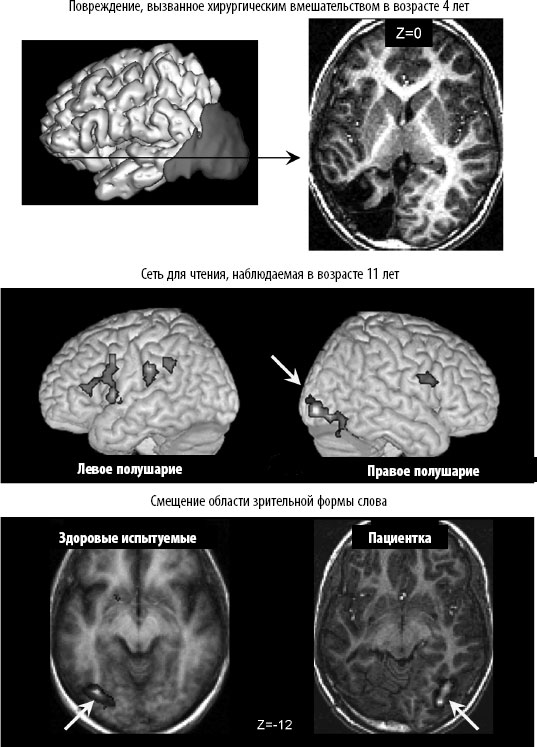
**Рис. 3.10.** Градиенты зрительной специализации объясняют, почему затылочно‑височная область «буквенной кассы» находится в одном и том же месте у всех людей. Один такой градиент охватывает всю длину вентральной зрительной коры (вверху): латеральные области предпочитают изображения, представленные в центре сетчатки, или центральной ямке (показана темно‑серым цветом), в то время как области ближе к срединной линии мозга выбирают изображения, отображаемые на периферии (показаны светло‑серым цветом). Функции чтения и распознавания лиц, которые требуют тщательного анализа, реализуются корой, предпочитающей фовеальные зрительные стимулы (по материалам статьи Hasson et al., 2002). *Использовано с разрешения Neuron.*

Первый предрасполагающий фактор был выявлен Ури Хассоном, Рафи Малахом и их коллегами из Института Вейцмана[[274]](#footnote-274). Используя методы визуализации, они показали, что одни зрительные области преимущественно реагируют на изображения, представленные в центре сетчатки, а другие – на периферии. Соответствующий градиент предпочтений длиной в пять–шесть сантиметров пересекает всю вентральную зрительную кору (рис. 3.10). Каждой ее точке, даже весьма удаленной от первичной зрительной области, свойственно выраженное предпочтение определенного места на сетчатке. Если области, расположенные по бокам мозга в обоих полушариях, предпочитают четкие визуальные стимулы, представленные близко к центральной ямке, то зоны, находящиеся ближе к срединной линии мозга, выбирают вход с периферии зрительного поля.

Происхождение этого градиента пока не установлено, но его размер и плавность напоминают те, что формируются в период эмбрионального развития. Возьмем, к примеру, постепенное уменьшение размера позвонков животного от спины к хвосту. Считается, что такой тип плавных изменений является результатом классического биологического механизма, который заключается в изменении концентрации химических сообщений – морфогенов, что распространяются по развивающемуся организму и определяют его базовый пространственный план[[275]](#footnote-275). Эта концепция восходит к математику Алану Тьюрингу. Тьюринг математически доказал, что если вещества вступают в химическую реакцию по мере их распространения через биологическую ткань, то они могут вызывать организованные в пространстве паттерны. Когда морфоген распространяется, он создает градиент убывающей концентрации, служащий суррогатным пространственным маркером. Так, если бы уровень морфогенов в центре мозга был выше, чем по бокам, и если бы эта концентрация модулировала притяжение нервных волокон, идущих из центральной ямки, результатом была бы генетически предвзятая нейронная сеть. Такая система в первую очередь обрабатывала бы стимулы с высоким разрешением, используя латеральные области коры. Именно такое пространственное устройство наблюдали Ури Хассон и его коллеги.

Но как этот градиент предпочтений сетчатки связан с чтением? Хассон заметил, что на нем область «буквенной кассы» всегда занимает одно и то же место. Оно характеризуется выраженным предпочтением четких фовеальных изображений. Соседняя область, преимущественно реагирующая на лица, тоже выбирает центральную ямку, тогда как зона, отвечающая за дома и пейзажи, предпочитает периферию зрительного поля.

Исходя из этих наблюдений, мы можем наметить простой сценарий, который объясняет, почему функция чтения реализуется именно в этом месте. С самого рождения зрительные нейроны уже неоднородны: одни, благодаря предпочтительным связям с центральной ямкой, предпочитают мелкие зрительные детали, другие – крупные стимулы. Естественно, первые лучше подходят для распознавания буквенных цепочек, требующих высокой четкости и остроты зрения. В результате функцию чтения преимущественно реализуют латеральные области зрительной коры, где такие нейроны наиболее многочисленны.



**Рис. 3.11.** У детей сети для чтения гораздо более гибкие, чем у взрослых. У этой юной пациентки зона в левой затылочно‑височной области, обычно связанная со зрительным распознаванием слов, была удалена хирургическим путем в возрасте четырех лет (травма хорошо видна на верхних снимках). У любого взрослого человека такое повреждение вызвало бы серьезное нарушение способности читать. Эта маленькая девочка научилась читать без особых сложностей. Семь лет спустя сеть чтения активировалась нормально, но зона зрительной формы слова поменяла полушария: теперь она находилась в правой затылочно‑височной области, в месте, точно симметричном своему обычному расположению (внизу) (по материалам статьи Cohen et al., 2004). *Использовано с разрешения Annals of Neurology.*

Градиент предпочтений сетчатки, однако, представляет собой только одну из трех осей системы координат, определяющих местоположение области «буквенной кассы». Для выделения этой зоны необходимы и другие предпочтения. Как мы уже говорили, второй врожденный градиент идет от задних отделов мозга к передним и приблизительно очерчивает иерархический уровень каждой зрительной области (рис. 3.5). Нейроны затылочного полюса реагируют на простые фрагменты изображений, в то время как передние участки коры предпочитают более сложные и структурированные объекты[[276]](#footnote-276). В этом отношении неудивительно, что область зрительной формы слова занимает относительно протяженную полосу коры, задняя часть которой реагирует на простые буквы, а передняя – на сложные фрагменты слов[[277]](#footnote-277).

Наконец, важную роль могут играть различные свойства двух полушарий. Почему чтение главным образом опирается на левый зрительный мозг, а изображения лиц обычно передаются в правое полушарие? Отсутствие симметрии, или «нарушение симметрии», как говорят физики, может иметь зрительное происхождение. Хорошо известно, что левое полушарие преимущественно отвечает за различение малых локальных форм, а правое в основном обрабатывает глобальные формы[[278]](#footnote-278). Другим фактором может быть латерализация речи. Уже при рождении речь преимущественно обрабатывается в височной и лобной областях левого полушария. При формировании навыка чтения, вероятно, происходит отбор зрительных областей, обладающих наиболее многочисленными и прямыми проекциями на речевые центры. Если так, левая вентральная височная область будет иметь преимущество перед своим правополушарным двойником, аксоны которого могут попасть в левое полушарие только через мозолистое тело.

Иерархическая модель на рисунке 3.9 предполагает, что смещение зрительного распознавания слов в левое полушарие – это последовательный процесс. Низкоуровневые области должны быть билатеральными: **в обоих полушариях зрительные нейроны, отвечающие за первичную визуальную обработку, реагируют только на те буквы, которые представлены в противоположной половине зрительного поля**. По мере продвижения вглубь мозга рецептивные поля расширяются, и мы находим клетки, способные реагировать на любую сторону зрительного поля. По моему убеждению, всякий раз, когда возникает такая потенциальная избыточность между полушариями, зрительные и лингвистические сдвиги заставляют левое полушарие брать верх над правым. Таким образом, чем выше уровень зрительной иерархии, тем больше нейронов в левом полушарии должны специализироваться на чтении.

Если мое предположение о врожденных предрасположенностях коры верно, то никакой заранее запрограммированной области для чтения не существует. Скорее, несколько генетически заданных сдвигов обеспечивают гамму нейронных предпочтений разных типов зрительных стимулов. Во время формирования навыка чтения зрительное распознавание слов просто выбирает участок коры, нейроны которого наиболее эффективно справляются с этой задачей. У всех людей пересечение генетически заданных градиентов создает оптимальное место для буквенных цепочек – область «буквенной кассы».

Что произойдет, если по той или иной причине эта область перестанет быть доступной? Благодаря научению функцию чтения должны взять на себя другие, менее эффективные, нейроны. Мой коллега Лоран Коэн и я недавно проверили эту гипотезу на одной юной пациентке с эпилепсией. В возрасте четырех лет девочка перенесла хирургическое удаление части мозга, в которой находилась часть зрительной системы, в том числе и участка, где обычно располагается область «буквенной кассы» (рис. 3.11). Несмотря на столь серьезную операцию, она прекрасно научилась читать, хотя делала это немного медленнее, чем обычные дети. В возрасте 11 лет мы просканировали ее мозг и наконец поняли, как ей это удалось. Несмотря на то, что все области левого полушария, отвечающие за устную речь, остались нетронутыми, она компенсировала потерю «буквенной кассы», распознавая письменные слова с помощью интактного правого полушария. Более того, чтение избирательно активировало зону, в точности симметричную области «буквенной кассы» у здоровых людей: в латеральной затылочно‑височной борозде, в том же самом месте как по латеральной, так и по передне‑задней оси, только в правом полушарии (рис. 3.1)[[279]](#footnote-279). Иначе говоря, ее «буквенная касса» просто «переехала» из левого полушария в правое!

Другие исследователи наблюдали аналогичную активацию правого полушария у ребенка с гиперлексией, который очень рано научился читать[[280]](#footnote-280). Правостороннее расположение области зрительной формы слова также встречается у взрослых пациентов с чистой алексией, которые перенесли инсульт, затронувший левую зрительную систему[[281]](#footnote-281). Таким образом, вклад этой области в чтение далеко не исключительный. Складывается впечатление, что у зрительной системы, в силу изначально присущих ей предрасположенностей, имеется своего рода список областей, наиболее подходящих для чтения. Если первый кандидат больше не доступен, задействуется кандидат номер 2 – симметричная область в правом полушарии.

Никакое другое экспериментальное открытие не могло бы лучше проиллюстрировать фундаментальный вывод о том, что заранее заданной области для чтения не существует. Овладение чтением предполагает минимальную перестройку нашего мозга приматов. Используя все доступные средства, он приспосабливает наиболее подходящие области зрительной коры для решения новой задачи распознавания слов.

## 4

## Изобретение чтения

Согласно гипотезе нейронного рециклинга, архитектура нашего мозга накладывает определенные ограничения на то, как мы читаем. Следы этого можно найти в истории мировых систем письменности. Несмотря на их внешнее многообразие, все они имеют большое количество общих черт, отражающих механизм кодирования зрительной информации в коре головного мозга.

Наука о чтении проливает новый свет на долгий и тернистый путь, который в итоге привел к тому алфавиту, каким мы знаем его сегодня. Фактически этот процесс можно рассматривать как процесс тщательного отбора: с течением времени писцы придумывали все более и более эффективные системы записи, соответствующие организации нашего мозга.

Как уже говорилось выше, наша кора вовсе не эволюционировала специально с целью приспособиться к письму. Скорее, это письмо развилось с тем, чтобы адаптироваться к особенностям коры.

Я слышал, что близ египетского Навкратиса родился один из древних тамошних богов, которому посвящена птица, называемая ибисом. А самому божеству имя было Тевт. Он первый изобрел число, счет, геометрию, астрономию, вдобавок игру в шашки и в кости, а также и письмена.

ПЛАТОН, «ФЕДР»[[282]](#footnote-282)

Идея о том, что письменность – это Божий дар, повторяется в культурах всего мира. Вавилоняне считали, что все формы магии, включая письмо, исходят от Эа, бога мудрости. Ассирийцы поклонялись Набу, сыну Мардука, который обучил человечество искусствам и ремеслам, начиная от архитектуры и заканчивая письмом. В индуистской религии письменность изобрел Ганеш, бог мудрости с головой слона; он даже сломал один из своих бивней, чтобы использовать его в качестве карандаша! В Библии сам Яхве передал Моисею 10 заповедей, написанных Его божественной рукой.

В письменности действительно есть нечто магическое – не потому, что ее якобы ниспослали нам боги, а потому, что она существенно расширила возможности человеческого мозга. Разве не чудо, что *Homo sapiens*, простой примат, смог в разы улучшить свою память, рисуя черточки на бумаге? Эта трансформация, однако, не была предопределена заранее. Лишь по счастливой случайности в нашем мозге появилась нейронная сеть, которая не только связала зрительные и речевые центры, но и оказалась достаточно пластичной, чтобы переориентироваться на распознавание букв. Впрочем, этот процесс рециклинга строго ограничен: судя по всему, оптимальными свойствами, необходимыми для чтения, обладает лишь локализованная система нейронов. Даже после переориентации на чтение она сохраняет большинство свойств, приобретенных ею в ходе эволюции. В борьбе между культурными инновациями и биологической инерцией победу неизменно одерживает последняя.

Таким образом, предложенная мной гипотеза нейронного рециклинга приводит к любопытному выводу: **ограничения мозга оставили свой след в истории письма и продолжают оказывать влияние на овладение этим навыком**. Наши знания о нейронных цепях, отвечающих за чтение, должны внести некоторую ясность в то, как чтение было изобретено и как мы ему учимся. В рамках этой гипотезы возникают два новых вопроса: каким образом люди обнаружили, что зрительную кору можно превратить в устройство для восприятия текста и как именно происходит этот процесс рециклинга в мозге каждого ребенка, который учится читать?

В следующих трех главах я постараюсь дать ответы на эти вопросы, а также проанализирую три простых, но важных следствия гипотезы нейронного рециклинга:

1. **Эволюция письма.** Если организация нашего мозга накладывает жесткие ограничения на культурные вариации, то во всех прошлых и нынешних системах письменности должны наблюдаться кросс‑культурные закономерности, которые можно проследить по особенностям организации коры.

2. **Эволюция человеческих способностей.** Чтение и письмо многократно увеличили объем человеческой памяти и коммуникации, но какой ценой? Если между новыми и эволюционно более старыми культурными достижениями существует конкуренция, не лишает ли нас чтение каких‑то других важных способностей?

3. **Формирование навыка чтения**. Как предполагает модель нейронного рециклинга, легкость, с которой дети учатся читать, зависит не только от масштабов требуемого обновления коры, но и от степени соответствия методов обучения структуре наших нейронных сетей.

### Универсальные свойства систем письменности

– Давай нарисуем для этого «с‑с‑с» змеиную голову. Вот так пойдет?

И вот что у нее получилось:

– Это будет другой наш сюрпризный секрет, – сказала она. – Если ты нарисуешь шипучую змею у входа в рабочую пещеру, где ты чинишь копья, то я буду знать, что ты там сидишь и думаешь, и прокрадусь к тебе тихо, как мышка. А если ты нарисуешь ее на дереве у реки, когда будешь ловить рыбу, я буду красться, как самая‑пресамая тихая мышка, так что даже травинка не шелохнется.

– Это просто здорово, – сказал Тегумай. – Ты даже не догадываешься, какую важную игру придумала. Мне кажется, дорогая моя Таффи, что дочь твоего отца изобрела лучшую в мире вещь! Самую лучшую с тех времен, как тегумайское племя придумало заменить кремневые наконечники для копий акульими зубами! По‑моему, мы разгадали самый большой в мире секрет.

РЕДЬЯРД КИПЛИНГ, «КАК БЫЛ ПРИДУМАН АЛФАВИТ»[[283]](#footnote-283)

Обычно мы не задумываемся, каким образом буквы обрели свой вид. Есть ли у каждой системы письменности своя «сказка»? Что есть форма букв – результат исторической случайности или же отражение организации человеческого мозга через универсальные черты? Учитывая огромное разнообразие систем письменности, которые изобрел человек, ответ кажется очевидным (рис. 4.1). Какие общие свойства могут быть присущи округлым индийским письменам, геометрически строгим греческим прописным буквам, кривым и точкам арабского письма и многоликим китайским иероглифам, простые штрихи которых ограничены воображаемым квадратом?

Гипотеза нейронного рециклинга предполагает, что человеческая креативность ограничена структурой мозга. Эта мысль прямо противоположна идее культурного релятивизма, согласно которой культурные вариации по существу безграничны. Если гипотеза нейронного рециклинга верна, наша генетика сильно сокращает диапазон систем письменности, которые мы можем освоить. Этот прогноз заставляет нас усомниться в кажущейся безмерности культурного многообразия. Хотя внешне культурные вариации очевидны, под их поверхностью мы должны обнаружить универсальные глубинные структуры[[284]](#footnote-284).

Рассмотрим многообразие существующих систем письменности. Даже самый беглый анализ показывает, что у них и правда очень много общего:

• Все системы письменности снабжают центральную ямку высокой концентрацией контрастных черных значков на белом фоне. По всей вероятности, этот формат оптимизирует объем информации, которую наша сетчатка и зрительные области могут передавать за одну зрительную фиксацию.

• Все системы письменности опираются на небольшой набор базовых элементов, иерархические комбинации которых генерируют звуки, слоги или целые слова. Китайские иероглифы и символы кандзи не исключение: хотя они исчисляются тысячами, каждый знак состоит из двух, трех или четырех базовых элементов, включающих в себя несколько штрихов. Эта иерархическая организация отлично вписывается в пирамиду корковых центров нашей зрительной системы. Зрительные нейроны используют комбинаторный принцип для кодирования единиц возрастающего размера и инвариантности.

• Во всех системах письменности местоположение и размер знаков не имеют значения. Ни в одной культуре детей не учат этому принципу специально: все люди уже рождаются с необходимыми корковыми механизмами. Иначе обстоят дела с круговым движением объекта. Все системы письменности требуют специфической ориентации читаемого текста. Эта универсальная особенность, вероятно, объясняется просто: древние писцы знали, что инвариантность относительно вращения ограниченна. Поскольку наши зрительные нейроны допускают отклонение не больше 40 градусов, мы никогда не сможем научиться эффективно читать во всех направлениях, предварительно не выделив огромное количество дополнительных нейронов для каждого угла обзора, превышающего 40 градусов.

• Наконец, все системы письменности тяготеют к совместному представлению звука и смысла. Можно подумать, древние писцы знали, что связи «буквенной кассы» делают ее центром, проецирующим информацию о форме как на верхние отделы височной доли, кодирующие звуки речи, так и на ее медиальные (срединные) и передние части, отвечающие за смысл. Отношение звука к значению является одним из основных источников различий между системами письменности (см. рис. 2.20). Для каждой из них характерна определенная статистическая связь между письменными знаками и звуками речи. Однако размер транскрибируемой речевой единицы варьируется от целых слов (в китайском языке и японской кандзи) до слогов (в японской кане), фонем (в алфавитных системах) и даже отдельных фонетических признаков (в корейском фонематическом письме хангыль). Хотя физиология мозга не регулирует эту сферу, выбор передаваемой речевой единицы определяет количество письменных символов и, следовательно, сложность овладения навыком чтения.

### Принцип золотого сечения

Марк Чангизи и его коллега из Калифорнийского технологического института Синсукэ Симодзе провели тщательный анализ кросс‑культурных особенностей, присущих мировым системам письменности. Они изучили детальную визуальную организацию каждого символа в 115 системах письма всех стилей и эпох, включая линейное письмо Б древнего Крита и древнескандинавские руны, а также этрусский и Международный фонетический алфавиты[[285]](#footnote-285). Анализ позволил выявить множество неожиданных закономерностей. Во‑первых, как видно на рисунке 4.1, большинство знаков состоят примерно из трех штрихов (то есть кривых, которые можно начертить, не отрывая ручку от бумаги). Вариативность этого среднего значения довольно низкая – например, заглавные буквы латиницы состоят из одного штриха (C, I, J, O, S, U), двух штрихов (D, G, L, P, Q, T, V, X), трех штрихов (A, B, F, H, K, N, R, Y, Z) или четырех штрихов (E, M, W), но не более того. Если система письма требует больше знаков – например, у этрусков было 23 буквы, а в Международном фонетическом алфавите их насчитывается 170, – новые символы создаются путем введения дополнительных базовых штрихов. В результате среднее количество черточек на символ остается прежним – около трех. Так, в Международном фонетическом алфавите используются такие знаки, как ɕ, ɝ, ɲ, ɷ, ʆ и ʉ, которые могут показаться нам экзотическими. Однако они не сложнее, чем латинские буквы. Они просто основаны на другом наборе элементарных кривых.

Я предполагаю, что магическая формула «три штриха на символ» была выбрана нашими предками вовсе не случайно. Вспомним, как увеличивается площадь рецептивных полей нейронов в иерархии зрительных областей. Как мы видели в главе 3, на каждой ступени корковой пирамиды рецептивное поле расширяется в два‑три раза. Пропорционально ему увеличиваются размер, сложность и инвариантность кодируемых зрительных единиц. Во всех системах письменности символы эволюционировали до тех пор, пока комбинация составляющих их штрихов не достигала оптимального количества. Поэтому ее легко может воспринять один нейрон через слияние входных данных от двух, трех или четырех типов нейронов, обнаруживающих кривые на уровне, который непосредственно предшествует ему в иерархической пирамиде.



**Рис. 4.1.** Несмотря на внешнее многообразие, все системы письменности обладают рядом общих визуальных свойств. Прежде всего, это контрастность, в среднем составляющая около трех штрихов на знак, а также ограниченный лексикон форм, которые постоянно повторяются, в том числе и в не связанных между собой культурах.

Поскольку такая схема воспроизводится на всех уровнях зрительной системы, выводы Чангизи и Симодзе можно распространить и на другие ярусы корковой иерархии. Спустимся на одну ступень ниже. Весьма вероятно, что каждый штрих представляет собой сочетание двух, трех или четырех линейных сегментов. Теперь поднимемся на ступень выше. В наших алфавитных языках многосоставные единицы, такие как корни слов, префиксы, суффиксы и грамматические окончания, почти всегда состоят из двух, трех или четырех букв. Точно так же в китайском языке большинство символов представляют собой комбинации двух, трех или четырех семантических и фонетических субъединиц. Следовательно, с визуальной точки зрения все системы письма опираются на пирамиду форм, золотое сечение которой – это число три (плюс‑минус единица).

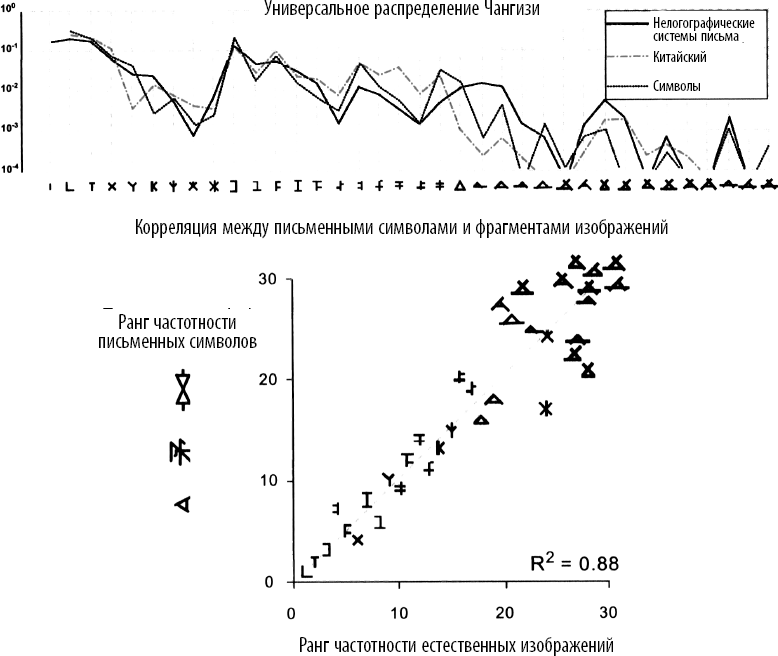
### Искусственные знаки и естественные формы

Помимо прочего, Марк Чангизи обнаружил второе важное свойство, общее для всех мировых систем письменности. Во всех них формы отдельных штрихов, как правило, одинаковы. Их частота подчиняется универсальному распределению, которое отлично согласуется с тем, что мы наблюдаем в естественной среде[[286]](#footnote-286).

Чтобы понять закон Чангизи, давайте взглянем, как штрихи пера образуют отдельные символы. Если пренебречь ориентацией, то два штриха всегда образуют T, L или X. Три черты могут дать множество конфигураций – например, F, K, Y, ∆. Чангизи предложил рассматривать эти формы с чисто топологической точки зрения, исключая вращение или искажение. Затем он просто подсчитал, сколько раз каждая из них появлялась на странице – больше ∆ или больше Y? Он обнаружил четкую закономерность: во всех системах письменности частота различных форм оставалась постоянной (см. рис. 4.2). Например, L и T всегда встречались чаще всего, за ними шли X и F, которые, в свою очередь, были более распространены, чем Y или ∆.

Такое универсальное распределение знаков не случайно. Допустим, мы бросили на землю несколько палочек. В отличие от письма, в этом случае их конфигурации не подчиняются частотному закону Чангизи – X, например, будет выпадать гораздо чаще, чем L и T.

Как ни странно, если подсчитать, как часто эти формы встречаются в природе, распределение Чангизи сохранится. Когда объекты соприкасаются, накладываются или заслоняют друг друга, их очертания нередко принимают такие формы, как T и L. X встречается не так часто, если только одна ветка не пересекает другую. Еще реже можно найти три линии, образующие ∆. Если изучить сотни изображений, а затем усреднить количество обнаруженных форм, оно будет четко согласовываться с универсальным распределением письменных символов (рис. 4.2).



**Рис. 4.2.** Все системы письменности, будь то алфавитные, силлабические или логографические, построены на небольшом наборе форм, частотность которых образует универсальную кривую (вверху). Наиболее распространенными конфигурациями являются те, которые чаще всего встречаются в природе (внизу). Причем многие из них преимущественно кодируются нейронами нижней височной коры (по материалам статьи Changizi et al., 2006).

Таким образом, то ли сознательно, то ли благодаря какой‑то необычайной интуиции, **первые писцы, по‑видимому, с самого начала понимали, что выбранные ими формы должны читаться максимально легко. Они отдавали предпочтение символам, напоминающим фигуры, которые встречаются в окружающей среде**. Эта удивительная закономерность прекрасно вписывается в гипотезу нейронного рециклинга. Все культуры отбирают знаки, овладение которыми требует минимальных изменений в коре. В ходе эволюции, как и в первые годы жизни человека, наши нейроны приспособились к характерным конфигурациям окружающей среды. Позже развитие письма пошло по тому же пути. Методом проб и ошибок всякая новая система рано или поздно приходит к характерным формам «протобукв», которые уже закодированы в зрительной коре приматов[[287]](#footnote-287).

В целом анализ систем письменности подтверждает, что форма букв не является произвольным культурным выбором. Мозг настолько сильно ограничивает построение эффективной системы письма, что для культурного релятивизма почти не остается места. Иными словами, наш мозг примата допускает лишь ограниченный набор письменных форм.

### Доисторические предшественники письменности

Как человек обнаружил, что его зрительная система может быть переориентирована на кодирование речи в письменной форме? Хотя в этой книге мы не можем углубляться в палеоантропологию и историю письменности, интересно проследить, как развивалось это необычное изобретение. Гипотеза о нейронном рециклинге проливает новый свет на ряд последовательных ментальных потрясений, которые, вероятно, и привели к открытию письма.

Древнейшие наскальные рисунки, например в пещере Шове на юге Франции (возраст – 33 000 лет), уже содержат свидетельства сложных графических форм. Первые *Homo sapiens* скоро обнаружили, что узнаваемый образ предмета или животного можно воссоздать с помощью нескольких штрихов на кости, глине, скале или стене пещеры и что для этого достаточно наметить основной контур.

Это открытие может показаться незначительным, но оно однозначно сыграло важную роль в изобретении письменности. Прежде всего оно избавляет от необходимости трудоемкого воспроизведения трехмерной фигуры или ее представления в двух измерениях (хотя наши предки быстро открыли такие формы искусства, как скульптура и живопись). Чтобы очертить контур, в котором даже неопытный глаз мгновенно распознает бизона или лошадь, достаточно нескольких линий. В этом изобретении лично я вижу первую умышленную манипуляцию нервной системой человека. Большинство ганглиозных клеток[[288]](#footnote-288) сетчатки нечувствительны к обширным поверхностям однородного цвета. Они срабатывают преимущественно на контуры объектов и реагируют примерно одинаково вне зависимости от того, какой именно это контур: просто линия (как на рисунке) или соединение двух поверхностей (как в реальной жизни). Мы понимаем картинки только потому, что у нас есть клетки, наделенные этим свойством. Придумав гравировку и рисунок, человечество изобрело первую форму нейронной самостимуляции.

Согласно традиционным представлениям, письменность началась с графической репрезентации естественных фигур. Эта точка зрения была популярна еще в XVIII веке, о чем свидетельствует следующая мысль о письменности в «Энциклопедии» Дидро и д'Аламбера:

Данный способ передачи идей посредством знаков и фигур первоначально состоял в совершенно естественном рисовании образов вещей; так, чтобы выразить идею человека или лошади, нужно было изобразить их форму. Очевидно, первой попыткой письма следует считать простой рисунок: человек научился рисовать прежде, чем научился писать.

Однако археологические находки противоречат этому мнению. В большинстве расписанных пещер рисунки животных соседствуют с самыми разными абстрактными формами: рядами точек, параллельными линиями, случайными кривыми… Вопреки утверждениям Дидро и д'Аламбера, символизм представляется таким же древним, как и само искусство. Очертания этих первых знаков иногда напоминают наши буквы: было бы интересно посмотреть, подчиняются ли они универсальному распределению Чангизи.

К этому же периоду относятся кости эпохи палеолита, на которых выгравированы серии линий. Должно быть, они служили элементарными счетными или календарными устройствами. Такие символы, даже если их нельзя расшифровать, свидетельствуют о том, что вырезавшие их мужчины и женщины ничем не отличались от нас. Они были *Homo sapiens.* Они обладали таким же «говорящим» мозгом, как мы, а потому вполне могли выражать свои абстрактные идеи в письменной форме.

Среди многочисленных «предшественников» письменности также фигурируют отпечатки рук, которыми изобилует ряд доисторических пещер. Как ни странно, на некоторых из них отсутствуют те или иные пальцы. Интерпретации этого явления предлагались самые разные: от членовредительства до болезни. На мой взгляд, однако, наиболее правдоподобное объяснение кроется в том, что пальцы были просто сложены с целью передать некий символический код. Некоторые формы повторяются с большей частотой и совпадают с распределением видов животных, изображенных на стенах тех же пещер[[289]](#footnote-289). Если так, эти рисунки могут представлять собой примитивный язык жестов, которым пользовались охотники, чтобы сообщить о количестве, характере и передвижениях добычи. Современные охотники‑собиратели до сих пор полагаются на подобные знаки, чтобы не вспугнуть зверя или птицу. Каким бы удивительным это ни казалось, отпечатки рук на стенах пещер могут свидетельствовать о развитии в некоторых доисторических обществах сложной системы символов. Формирование такой системы, вероятно, происходило в две ступени: первый этап – ассоциация произвольного положения рук с предметами или действиями; второй этап – их перманентная фиксация посредством наскальной живописи.

### От счета к письму

В своем труде «Жест и речь» Андре Леруа‑Гуран подчеркивал, насколько важны язык и устная традиция в «чтении» пещерного искусства:

Первоначально фигуративное искусство было непосредственно связано с языком и было гораздо ближе к письму (в самом широком смысле), чем к произведениям искусства. Это была символическая транспозиция, а не точная копия реальности… Как в символах, так и в словах абстракция отражает постепенное приспособление двигательной системы выражения ко все более и более тонко дифференцированным подсказкам мозга. Самые ранние известные картины не изображают охоту, умирающее животное или трогательную семейную сцену, но представляют собой графические строительные блоки без какой‑либо описательной связи, опорную среду безвозвратно утраченного устного контекста… Это подлинные «мифограммы», более близкие к идеограммам, чем к пиктограммам, и более близкие к пиктограммам, чем к описательному искусству… Идеография в этой форме предшествует пиктографии, и все искусство палеолита идеографическое.

Далее он добавляет:

Также легко представить систему, в которой за тремя линиями следует изображение вола или за семью линиями – рисунок мешка с зерном. В таких обстоятельствах фонетизация происходит самопроизвольно, и чтение становится практически неизбежным. В эпоху зарождения письменности, вероятно, существовала только эта разновидность пиктографии, и письменность должна была немедленно слиться с этой предсуществующей идеографической системой[[290]](#footnote-290).

Как и предполагал Леруа‑Гуран, в Месопотамии (современный Ирак), на родине письменности, числовые символы сыграли важнейшую роль в возникновении письменного кода[[291]](#footnote-291). Во многих раскопах, датируемых 8000 годом до нашей эры, археологи нашли небольшие глиняные предметы с нанесенными на них абстрактными формами конусов, цилиндров, сфер, полусфер и тетраэдров. По мнению Дениза Шмандт‑Бессера, это «калькули» – маленькие маркеры, которые использовали для счета и вычислений. Одни обозначают единицы, другие – кратные арифметических оснований 10 и 60 (10, 60, 600, 3600 и так далее). На Ближнем Востоке сложная система расчетов использовалась в течение длительного периода времени – как минимум 5000 лет, с 8000 по 3000 годы до нашей эры. В городе Сузы, примерно в 3300 году до нашей эры, появилась любопытная переходная форма: калькули стали помещать внутрь полых глиняных «конвертов» с разного вида насечками. Форма и количество таких отметок совпадали с найденными внутри калькулями, образуя тем самым полноценную символическую систему счисления. Постепенно содержимое «конверта», служившее доказательством правильности подсчета, исчезло, а сама запись осталась. Для передачи сообщения (например, «20 козлов») было достаточно одного числового знака в сочетании с символическим изображением объекта. Так родилась идея письма.

Определенную роль счет сыграл и в формировании независимой системы письма в доколумбовой Южной Америке. Здесь главным стимулом послужил расчет временных циклов в календарной системе. Еще в 2000 году до нашей эры ольмеки применяли вырезанные символы – глифы – для обозначения таких отрезков времени, как дни и годы, а также других важных ритуальных циклов. Около 600 года до нашей эры сапотекская культура расширила эту систему, начав использовать особые знаки для обозначения дат, мест и знаменитых участников исторических событий.

Вкратце, как и предполагал Андре Леруа‑Гуран, **кодирование абстрактных идей, таких как число и время, сыграло ведущую роль в зарождении письменности**. Возможно, они также внесли свой вклад в саму идею о том, что мысли можно перевести в письменную форму. Первые символы зачастую представляли собой абстрактные геометрические фигуры, которые обеспечивали доступ лишь к небольшому зрительному лексикону. В древнем Шумере и Египте пиктография, по крайней мере временно, служила простым способом обогащения лексикона письменных форм. Ее главным преимуществом была легкость чтения. Ни одному писцу не нужно было объяснять, что нарисованный колос пшеницы – это символ урожая.

Примечательно, что знаки в первых письменных текстах включали целый ряд форм, которые, как обнаружили современные физиологи, кодируются отдельными нейронами зрительной коры приматов. Прежде чем остановиться на «буквенной кассе» – области, наиболее подходящей для связи зрительных форм с речью, – культурная эволюция, по‑видимому, систематически исследовала пространство возможных конфигураций, закодированных в зрительной коре. Так, египетские иероглифы можно рассматривать как каталог стимулов, способных активировать мозаику вентральных областей. К ним относятся животные (), предметы и инструменты (), части тела ( и даже ), позы (), а также простые геометрические фигуры ()[[292]](#footnote-292). Как ни странно, первые писцы старательно избегали двух категорий зрительных репрезентаций, которые хорошо представлены в коре головного мозга. Первая группа – это места, дома и пейзажи. Всего несколько иероглифов изображают их, и то лишь в очень упрощенном виде, который не вызывает никакого ощущения пространства или глубины ().

Другая редко используемая категория – это лица. Только майя использовали разнообразие стилизованных лиц для обозначения слогов:



На поверхности коры места и лица занимают вытянутые и достаточно удаленные друг от друга области. Тем не менее обе они расположены слишком далеко от «буквенной кассы» в левом полушарии. Область места, присутствующая в обоих полушариях, лежит близко к медиальной линии мозга, в то время как зона лица преимущественно расположена в правом полушарии – следовательно, находится на максимальном удалении от центра речи в левом полушарии. Может, первые писцы каким‑то образом обнаружили, что эти две категории не обеспечивали эффективной связи с речевыми центрами? Почти полное отсутствие лиц среди письменных символов можно считать еще одним косвенным доказательством того, что структура мозга послужила мощным ограничительным фактором в эволюции письма.

### Ограничения пиктографии

В «Пятой Эннеаде» философ Плотин (205–270 годы н. э.), комментируя «Федр» Платона (см. эпиграф к этой главе), выразил свое безграничное восхищение древнеегипетской письменностью:

Нам кажется, что мудрецы Египта, желая дать верное выражение своим представлениям о вещах, не прибегали к буквам, которые входят в состав слов и предложений и указывают на те голосовые звуки, посредством которых те и другие выговариваются, но вместо этого делали как бы статуи, рисунки вещей – чертили иероглифы и имели в святилищах для каждого предмета особый иероглиф, особую символическую эмблему, которая выражала его смысл и значение. Каждый такой иероглиф уже и сам по себе может быть принимаем за образчик знания и мудрости египетских жрецов.[[293]](#footnote-293)

К сожалению, Плотин ошибался. Если бы иероглифы, как комиксы, действительно давали прямой доступ к смыслу, нам бы не пришлось ждать, пока их расшифрует французский египтолог Жан‑Франсуа Шампольон. Концепция универсальной пиктографической системы, которую без специальной подготовки могли бы понимать представители всех культур, нереалистична. В эволюции письменности пиктографическая стадия была столь короткой, что можно усомниться в том, существовала ли она вообще. С самого начала письменность использовалась для выражения абстрактных идей. Для этого было введено огромное количество произвольных условностей, многие из которых требовалось заучивать наизусть. В результате письменность и чтение быстро стали привилегией элиты.

На ранней стадии писцы столкнулись с рядом практических проблем. Во‑первых, писать нужно было как можно быстрее. В гробницах некоторых богатых египтян иероглифы отличаются невероятной детализацией, включая великолепные изображения птиц и цветов. Однако на создание этих крошечных произведений искусства уходило так много времени, что для повседневного использования они не были пригодны. Вскоре появилась более быстрая и упрощенная система письма, ныне известная как демотическая (буквально – «народное письмо»). Во всех странах, где письменность была широко распространена, стилизация привела к быстрому переходу от пиктографии к более простому набору символических знаков.

Принятые формы письма частично зависели от доступных материалов. Шумеры писали на мягких глиняных табличках тонко заточенными тростниковыми палочками. Единственной формой, которая давалась им без труда, был клин (по‑латыни *cuneus*). Их письменность, состоявшая из разных вариантов базового клиновидного штриха, в итоге превратилась в «клинопись». По‑разному комбинируя клинья, шумеры создали десятки знаков, настолько стилизованных, что начальная пиктограмма стала неузнаваемой (рис. 4.3). Например, символом водного пространства изначально были две параллельные волны. В клинописи он превратился в большой клин и два маленьких – чистая условность, которую должен был запомнить каждый писец.

Китайцы пошли по аналогичному пути. В самых древних известных записях, датируемых династией Шан (1000 год до н. э.), символы вырезались на костях или черепаховых панцирях (так называемые гадательные надписи). Знак, обозначающий слово «лошадь», действительно напоминал благородное животное: . Однако вскоре стилизация взяла верх. Разве сегодня можно догадаться, что 馬 означает «лошадь»? Этот знак обрел свою окончательную форму еще в III веке, а в последнее время был упрощен до . Считается, что только 2 % современных китайских иероглифов содержат узнаваемый пиктографический элемент[[294]](#footnote-294).

Стилизация, образующая фундамент всех существующих систем письменности, лежит в основе орфографии. Этот термин буквально означает «рисовать правильно». До тех пор, пока письмо базировалось на рисовании распознаваемой картинки, ее точная форма могла варьироваться. Совсем иначе обстояли дела с условными символами: был только один способ писать их правильно, одна «орфография».

Вторым фактором, который содействовал отказу от пиктографии, была проблема изображения абстрактных понятий. Никакая картинка не могла передать концепцию свободы, господина и раба, победы или бога. Во многих случаях помогала ассоциация идей. В клинописи звезда обозначала божество; яйцо рядом с птицей – рождение ребенка; профиль человека, касающегося губами чаши, – пищу. К сожалению, какими бы удачными они ни были, эти условности ничего не значили для нетренированного глаза – прямая связь между картинкой и смыслом была утрачена.



**Рис. 4.3.** Традиция и симплификация (упрощение) – два важнейших фактора в эволюции письменности. В шумерском языке (вверху) первые знаки, пиктографическое происхождение которых очевидно, быстро превратились в абстрактные символы. Это произошло главным образом потому, что их выдавливали в мягкой глине с помощью заостренной палочки. Протосинайская письменность (в середине) включала небольшое количество условных изображений для обозначения согласных семитского языка. Перенятые финикийцами и греками, эти формы подверглись дальнейшему упрощению и были повернуты на 90 или 180 градусов под влиянием изменений в направлении письма. В итоге они стали буквами нашего алфавита. Каждую из них, например букву А (внизу), можно рассматривать как конечную точку культурной эволюции, которая стремилась, с одной стороны, к максимальной простоте, а с другой – к сохранению базовой формы, легко распознаваемой нейронами нашей нижневисочной коры. *Перепечатано с разрешения Роберта Фрадкина*.

Другая хитрость состояла в использовании сходства между определенными звуками, чтобы изобразить своеобразные зрительные каламбуры. Историки называют это принципом ребуса. Он предполагает применение пиктограммы для репрезентации слогового звука, то есть преобразование пиктограмм в фонограммы. Для шумерских писцов слово «жизнь», произносимое как [тил], иллюстрировалось стрелкой, которая произносилась [ти][[295]](#footnote-295). Постепенно такая разновидность транскрипции смысла уступила место записи звуков. В шумерском языке рисунок растения, произносимого как [му], сначала использовался для обозначения года, затем существительного и, наконец, притяжательного местоимения «му» («мой»). В итоге он стал условным знаком для любого слога «му», даже когда тот появлялся в других словах.

Благодаря принципу ребуса шумеры и египтяне создали множество символов, которые могли транскрибировать любой звук в их языках. И действительно, подмножество иероглифических знаков образует так называемый иероглифический алфавит (хотя такое название не совсем корректно): несколько десятков знаков, представляющих все согласные в древнеегипетском языке. Эта система использовалась для транскрипции имен собственных, например «Александр» или «Клеопатра». Именно его простота позволила основателю египтологии Шампольону разгадать иероглифический код. Шумеры использовали более обширный набор символов для репрезентации всех своих слогов. Они изобрели клиновидные знаки для всех возможных комбинаций одной согласной [С] или гласной, окруженной согласными [СГ, ГС или СГС].

Таким образом, **египтяне и шумеры очень близко подошли к алфавитному принципу, но не сумели извлечь этот бриллиант из своих раздутых систем письма**. Хотя стратегия ребуса позволяла им записывать слова и предложения с помощью компактного набора фонетических знаков, они продолжали дополнять их множеством пиктограмм. Это неудачное смешение двух систем, одна из которых была основана на звуке, а другая – на смысле, порождало неопределенность. Например, по знаку звезды невозможно было сказать, что конкретно имел в виду писец: слово «бог», «звезда» или просто соответствующий звук. Сейчас очевидно, что можно было значительно упростить эту систему, придерживаясь исключительно звуков речи. К сожалению, культурная эволюция нетороплива и не склонна к рациональным решениям. В результате и египтяне, и шумеры следовали по естественному пути возрастающей сложности. На протяжении сотен лет, вместо того чтобы упрощать системы письма, обе цивилизации пытались устранить двусмысленности, добавляя все новые и новые знаки. Так, клинопись обзавелась «детерминативными» идеограммами для уточнения смысла сопровождающих знаков. Каждая из них обозначала семантические категории: город, человек, камень, дерево, бог и так далее. Например, знак «плуг» в сочетании с детерминативом «дерево» означал сельскохозяйственный инструмент. Тот же самый символ с детерминативом «человек» обозначал пахаря. Кроме того, детерминативы уточняли значения слов, записанных в слоговой нотации – хорошая идея, поскольку практически любой слог мог соответствовать нескольким омофонным словам (почти как английские «one» и «won»[[296]](#footnote-296)).

Поразительно, но египетская письменность развивалась аналогичным образом. Иероглифы включали сложную систему детерминативов для таких категорий, как человек, вода, огонь, растение, действие и даже абстрактные понятия. В этой сложной схеме слово представляло собой смесь звука, категории и прямого значения. Например, глагол «выходить», который произносился как [пр], содержал минимум три знака:

• Дом, который произносился как [пр], служил фонетическим элементом.

• Рот, который произносился как [р], служил фонетическим дополнением и указывал, что символ дома следует читать ради его произношения, а не ради значения.

• Наконец, пара ног служила детерминативом, выражающим идею движения[[297]](#footnote-297).

Похожая логика управляла эволюцией китайских иероглифов. Они тоже состоят из субъединиц, содержащих смысловые и фонетические маркеры. Например, знак, обозначающий «солнечный свет», [qing], содержит символы, обозначающие «солнце» и «зеленый». Первый – это семантический маркер, а второй, [qing], указывает на правильное произношение.

Хотя все эти графические комбинации весьма замысловаты, они не намного сложнее той логики, благодаря которой англичане различают омонимы «cellar» («погреб») и «seller» («продавец»), «I» («я») и «eye» («глаз») или «but» («но») и «butt» («окурок»). Они тоже полагаются на орфографические условности, которые включают в себя комбинацию морфем и фонем. Английское правописание может показаться сложным, но на самом деле оно проясняет двусмысленности фонетических обозначений. Оно использует специальные письменные формы для разных значений слов, которые звучат одинаково, например «lessen» («уменьшать») и «lesson» («урок»), «pea» («горох») и «pee» («моча»), «horse» («лошадь») и «hoarse» («хриплый»). В словах «board» («доска») и «bored» («скучающий») окончание – ed служит маркером причастия прошедшего времени и в этом отношении мало чем отличается от тех, что использовались в древнеегипетском языке или клинописи.

Вкратце, смешанная система письма, сочетающая смысл и звук, была независимо принята разными культурами. Но почему смешанные системы письменности представляют собой такой стабильный фактор для обществ во всем мире? Вероятно, этому способствуют сразу несколько ограничений: структура нашей памяти, организация языка и доступность определенных связей в мозге. Наша память плохо приспособлена для чисто пиктографического или логографического письма, где каждому слову соответствует свой собственный символ. В таком случае нам бы пришлось запоминать знаки для каждого из 50 000 слов в нашем лексиконе, а это вряд ли возможно. Система записи звуков тоже не подходит. Большинство языков содержат такое множество омофонов, что сугубо фонологическая система была бы переполнена двусмысленностями. Чтение превратилось бы в расшифровку ребуса. Смешанная система, использующая фрагменты как звука, так и смысла, кажется оптимальным решением.

Такая система письма имеет и другое преимущество: она отлично приспособлена для подключения «буквенной кассы». Проецируя как на медиальные височные и лобные зоны, кодирующие значение слова, так и на верхние височные и нижние лобные отделы, участвующие в слуховом анализе и артикуляции, эта область, вероятно, играет ключевую роль в распределении фонологических и семантических фрагментов информации. Если бы эти связи не существовали у всех людей, нашим шумерским и египетским предкам, вероятно, пришлось бы изобретать совсем иной зрительный код.

### Алфавит: огромный скачок вперед

Зародившись в Месопотамии, «вирус» письменности быстро распространился на окружающие культуры. Благоприятная среда, которую он нашел в человеческом мозге, несомненно, очень этому способствовала. Однако во всех обществах «письменная эпидемия» ограничивалась лишь небольшой группой специалистов. Сложность этого изобретения препятствовала его дальнейшему распространению. По некоторым оценкам, шумерский язык когда‑то насчитывал 900 знаков, число которых позже сократилось до 500: пиктография постепенно уступала место слоговому письму. В Египте обучение писца включало заучивание в общей сложности около 700 знаков. В современном Китае детям приходится заучивать несколько тысяч символов. Еще в 1950‑е годы уровень неграмотности среди взрослого китайского населения был близок к 80 % – до того, как радикальное упрощение и массовые инвестиции в образование снизили этот показатель до 10 %.

Прежде чем вирус письма приобрел характер пандемии, он должен был мутировать. Как и в случае с биологической эволюцией, эта мутация – алфавитный принцип – вероятно, возникла в небольших группах людей, находящихся на периферии основной части общества. Первые следы алфавитной системы, названной протосинайской, датированы 1700 годом до нашей эры и обнаружены на Синайском полуострове, рядом с месторождениями бирюзы, которые разрабатывали фараоны Среднего и Нового царств. Эта система письма заимствовала формы нескольких египетских иероглифов, но использовала их для семитского языка. Знаки больше не передавали значение, а указывали только на звуки речи – фактически только на согласные. Таким образом, количество письменных символов резко сократилось: двух десятков знаков было достаточно, чтобы представлять все существующие звуки речи.

Семена алфавитного письма проросли потому, что это был новый язык. Это позволило писцам отбросить старые правила и перейти к рационализированной транскрипции. Хотя они, несомненно, черпали вдохновение из египетских и клинописных систем, у них была уникальная возможность устранить любые исторические ошибки, извлечь базовые принципы и преобразовать их в простейшую форму. В итоге они полностью отказались от идеографического письма и сосредоточились исключительно на абстрактной записи звуков речи и корней слов[[298]](#footnote-298).

Новый язык писцов принадлежал семитской семье, которая сегодня включает арабский, амхарский и иврит. Морфология этих языков своеобразна тем, что акцентирует согласные звуки. Очевидно, именно эта особенность помогла изобретению алфавита. В семитских языках корни многих слов состоят из фиксированной решетки согласных, в пределах которой гласные могут варьироваться. Например, в иврите корень – gdl‑, выражающий общее значение «большой», может склоняться как «gadol» – «большой» (мужской род); «gdola» – «большая» (женский род); «giddel» – «поднимать»; «gadal» – «расти»; «higdil» – «увеличивать» и так далее. Создатели протосинайской письменности воспользовались этой особенностью. Они понимали: все, что нужно сделать, – это представить абстрактный каркас из согласных. Их язык не требовал большого количества знаков для каждого возможного слога – читатель мог понять суть сообщения, просто посмотрев два десятка форм в лексиконе согласных.

Выбор формы для каждого согласного был обусловлен простой мнемоникой[[299]](#footnote-299): каждая форма обозначала слово, начинающееся с соответствующего согласного. Эта идея получила название акрофонического принципа (буквально – «использование звука на одном конце»). Так, согласная «b» представляла собой очертания дома, который в большинстве семитских языков произносился как [beth]. Она дала свое название букве *бета* (*β*) в греческом языке. Гортанная смычка – уникальный для семитских языков согласный, с которого начинается слово «’aleph» («вол», «бык») – изображалась в протосинайском письме головой вола. Позже, стилизованная и перевернутая, она стала буквой *альфа* (α) в греческом алфавите, а затем буквой «А» в латинице. Перевернув заглавную «А», мы увидим голову и два рога вола. Акрофонический принцип – единственная причина, по которой греческие буквы имеют любопытные названия (*альфа, бета, гамма, дельта* и так далее). На самом деле это искаженные семитские наименования двух десятков образов, которые дали нашим буквам форму, название и произношение их первой согласной.

Таким образом, **каждая буква в латинском алфавите содержит скрытый рисунок, придуманный 4000 лет назад**. Буква «m» символизирует волны («mem» или «mayyūma»), буква «n» – змею («nahašu»), буква «l» – заостренную палку («lamd»), буква «k» – руку с вытянутыми пальцами («kaf»), буква «R» – голову («res»). Мне нравится думать, что культурная эволюция пошла по тому же пути, что и нейрофизиолог Кэйдзи Танака: рисунки упрощались до тех пор, пока не осталась только базовая форма (см. рис. 3.6 и 4.3). Первые реалистичные изображения воловьих голов в пещере Ласко постепенно превратились в семитскую письменность, которая трансформировала их в несколько штрихов. Финикийцы и греки переделали их в современную букву «А». Как Танака упрощал изображения, пока не достиг элементарной формы, активировавшей зрительные нейроны обезьяны, так и письменность развивалась в направлении облегченной системы, которая могла быть мгновенно распознана нейронами нижневисочной коры. В результате культурной эволюции писцы пришли к небольшому набору минимальных и универсальных буквенных форм. Хотя они могут варьироваться от одной страны к другой, все они происходят из одного и того же набора базовых элементов, которые присутствуют в естественной среде и которые наша зрительная система воспринимает наиболее легко.

С изобретением алфавита письменность стала более демократичной. Чтобы стать писцом, больше не требовалось учиться годами. Любой человек мог научиться читать и писать 20 букв (или около того). Письменность и алфавит быстро распространились по всему миру. В Угарите, на сирийском побережье, вдали от места своего рождения, алфавитный принцип был приспособлен к технологии глиняного письма на табличках. На месте древнего ханаанского города были найдены образцы письма на клиновидном алфавите, датируемые XIII веком до нашей эры. Он был семитским и косвенно породил все мировые алфавиты: сначала финикийский, давший начало греческому, кириллицу, латынь и, вероятно, все индийские системы письма; затем еврейское письмо, почти не изменившееся с тех пор; наконец, арамейский, ставший источником современного арабского, на котором сегодня читают 200 миллионов человек.

### Гласная – мать чтения

Финикийцы внесли еще один важный вклад – обозначение гласных. На семитском языке транскрибировались только согласные звуки. Эта особенность усложняла чтение и приводила к двусмысленностям: буквы передавали только корни слов, а не их полное произношение. Финикийская письменность, следуя примеру древнееврейского и угаритского алфавитов, ввела представление гласных путем добавления символов, получивших название *matres lectionis* («мать чтения»). Первоначально *matres lectionis* были просто согласными, преобразованными в гласные. Вероятно, это произошло из‑за того, что произношение некоторых слов изменилось[[300]](#footnote-300). Например, семитское слово «panamuwa», которое первоначально писалось как «PNMW», в устной речи постепенно исказилось до «panamua», а затем – «panamu». Поскольку слово по‑прежнему писалось «PNMW», конечная согласная «W» стала транскрипцией звука [u]. Точно так же согласная «j» («jodh») стала официальной транскрипцией гласной [i]. Кстати, именно поэтому англичане произносят столицу Словении, Ljubljana, как [Liubliana].

Финикийская система, однако, была не идеальной. Она не передавала всех гласных и изобиловала двусмысленностями, поскольку одни и те же символы обозначали как согласные, так и гласные. Алфавит, каким мы его знаем сегодня, создали греки. При этом они переняли финикийские названия букв (‘*aleph, beth, gimmel* и другие), хотя к тому времени те уже утратили всякий смысл. Правда, некоторые финикийские согласные в греческом языке отсутствовали. Например, греки не могли произнести гортанную смычку, обозначаемую апострофом и являющуюся первой буквой слова *'aleph* (буква «А»). В результате греческие ораторы неосознанно опускали этот первый звук и неправильно произносили букву *aleph*. Со временем «А» стала обозначать гласную [а], хотя в семитских языках эта буква изначально передавала согласный звук. Аналогичная история связана с буквами *йота, омикрон* и *эпсилон*. Все они – семитские согласные, преобразованные в греческие гласные. Следующие несколько столетий система продолжала развиваться. Периодически в греческом языке появлялись новые звуки, а вместе с ними и новые буквы. Так возникла *омега*, обозначающая длинное [о], и *эта*, обозначающая длинное [е] (она была заимствована от финикийского согласного «heth», которого не было в греческом языке). Постепенно появились и сложные графемы: сочетание «o» и «u» передавало звук [u], а буква *эпсилон* в конечном счете стала обозначать резкий звук [ü], как во французском слове «sur» или немецком «über».

Хотя все эти изменения происходили медленно, в их основе лежал абсолютно новый принцип. Впервые в истории человечества алфавит позволил грекам создать полную графическую опись звуков своего языка. Письменность лишилась пиктографических и слоговых корней. Греки открыли наименьшие единицы устной речи – фонемы – и изобрели систему письма, которая могла транскрибировать их все. Методом проб и ошибок культурная эволюция привела к минимальному набору символов. Эти знаки были совместимы с нашим мозгом, во‑первых, потому что их легко могла усвоить «буквенная касса», а во‑вторых, потому что они устанавливали прямую связь со звуками речи, закодированными в верхней височной коре.

## 5

## Овладение навыком чтения

Чтобы мы могли читать, между определенными областями нашего мозга должна сформироваться связь. Все эти участки присутствуют уже в младенческом возрасте и подразделяются на две группы: систему распознавания объектов и систему, отвечающую за речь. Овладение навыком чтения включает три основных этапа: короткую логографическую стадию, когда дети «фотографируют» слова; фонологическую стадию, когда они учатся преобразовывать графемы в фонемы; и орфографическую стадию, когда распознавание слов становится быстрым и автоматическим. Как показывают нейровизуализационные исследования, в ходе процесса чтения происходит изменение некоторых нейронных цепей, особенно в левой затылочно‑височной области – «буквенной кассе» мозга. В течение нескольких лет нейронная активность, которую вызывают написанные слова, усиливается и приобретает избирательный характер. В итоге формируется сеть для чтения, свойственная взрослому человеку.

Хотя эти данные предварительные, они могут сыграть важную роль в педагогике и образовании. Прежде всего мы наконец‑то поняли, почему метод целых слов ввел в заблуждение много психологов и учителей, хотя он абсолютно не отвечает требованиям структуры нашей зрительной коры.

Мне бы хотелось, чтобы у вас захватывало дух не только от того, что вы читаете, но и от самого чуда чтения.

ВЛАДИМИР НАБОКОВ, «БЛЕДНЫЙ ОГОНЬ»[[301]](#footnote-301)

Много поколений писцов трудились над тем, чтобы системы письма обрели привычный для нас вид. Однако сегодня дети овладевают ими всего за несколько лет. Независимо от того, на каком языке они говорят – французском, английском, китайском или иврите, – двух или трех лет обучения достаточно, чтобы научиться расшифровывать слова. За это время письмо, которое раньше представлялось каракулями на бумаге, внезапно обретает смысл. За последние 10 лет исследования внутренних механизмов этого процесса, начиная с психологии и заканчивая уровнем мозга, позволили нам гораздо лучше его понять. Это очень важно: благодаря новым данным мы можем скорректировать и усовершенствовать существующие методики обучения этому навыку. Именно о них мы и поговорим в этой главе.

Согласно гипотезе нейронного рециклинга, письмо «оседает» в мозге ребенка потому, что находит подходящую нишу в нейронных системах, которые уже функционируют и нуждаются лишь в минимальной переориентации. По всей вероятности, процесс, который происходит в зрительных и лингвистических системах, напоминает культурное экспериментирование в ходе эволюции письма. Ключевой прогноз этой теории состоит в том, что чтение постепенно переходит в левую затылочно‑височную область – «буквенную кассу» мозга. По мере того как ребенок учится читать, эта область должна переориентироваться на письмо и усилить связи с отдаленными височными, теменными и лобными речевыми центрами. Сегодня психология развития и в первую очередь нейровизуализационные исследования помогают пролить свет на основные этапы этого процесса[[302]](#footnote-302).

Примечательно, что гипотеза нейронного рециклинга побуждает нас сосредоточиться на первом году жизни человека, хотя пройдет еще много времени, прежде чем ребенок впервые столкнется с буквами. Если модель рециклинга верна, дети учатся читать только потому, что их мозг уже имеет необходимую структуру – будь то благодаря эволюции или раннему научению. До того как дети придут на свой первый урок чтения, предшествующее лингвистическое и зрительное развитие должно сыграть ведущую роль в подготовке их мозга к этой новой культурной функции.

### Рождение будущего читателя

Мир младенца однажды назвали гигантской «цветущей жужжащей путаницей». Раньше его мозг считался крайне незрелым и почти неорганизованным – для его структурирования якобы требовались огромные объемы информации и годы статистического научения. Однако недавние исследования опровергают эту упрощенную «конструктивистскую» теорию. Конечно, мозг остается пластичным вплоть до подросткового возраста, тем самым открывая коридор возможностей для научения и образования. Однако именно на первом году жизни закладываются две основные способности, которые впоследствии будут переориентированы на чтение: понимание речи и инвариантное зрительное распознавание.

Уже в первые месяцы жизни младенцы демонстрируют удивительные речевые способности. Всего через несколько дней после рождения малыши легко улавливают лингвистические контрасты – например, разницу между [ба] и [га][[303]](#footnote-303). Более того, они уделяют пристальное внимание ритму своего родного языка[[304]](#footnote-304), который слышат в утробе матери в течение последних месяцев беременности. Речевые навыки ребенка опираются на ту же сеть областей левого полушария, которые обрабатывают речь у взрослого человека. Левая верхняя височная область анализирует звуки речи, а височная доля организована иерархически и содержит последовательность отделов, предположительно способных извлекать фонемы, слова и предложения. Когда трехмесячные дети слышат предложения, активируется даже левая нижняя лобная область, так называемая зона Брока, которая традиционно считается центром продвинутого речепроизводства и грамматических навыков[[305]](#footnote-305).

Несомненно, эти области мозга генетически предрасположены к формированию сети, позволяющей овладевать речью. Не менее важную роль, конечно, играет и научение. В течение первого года жизни речевые области ребенка начинают избирательно реагировать на язык, который используется в его окружении[[306]](#footnote-306). В возрасте шести месяцев происходит адаптация к родному языку и соответствующая трансформация репрезентации гласных – уникального для каждого языка «вокалического пространства». Примерно в год начинают выделяться согласные. В это время японские малыши перестают воспринимать различие между [р] и [л], а мы прекращаем слышать иностранные контрасты, например разные звуки [т], имеющие решающее значение в индийских языках, но не в наших.

Младенческий мозг, подобно юному натуралисту или статистику, систематически извлекает, сортирует и классифицирует сегменты речи. Он обнаруживает закономерности в речевых сигналах, решает, какие звуковые переходы допустимы, и отбрасывает все остальные. Очень быстро формируются базовые фонотактические правила языка: польский ребенок допускает последовательность согласных звуков [п], [р] и [ч], хотя носителям английского языка она режет слух. Кроме того, младенцы определяют, какие фрагменты речи встречаются чаще всего – именно они станут первыми словами в их входном лексиконе[[307]](#footnote-307).

К концу второго года жизни словарный запас ребенка увеличивается с поразительной скоростью – от 10 до 20 новых слов в день. В то же время он обнаруживает основные грамматические правила. В возрасте пяти‑шести лет, когда дети начинают учиться читать, они уже неплохо знают фонологию, а их лексикон насчитывает несколько тысяч слов. Помимо этого, они владеют базовыми грамматическими структурами своего языка. Эти «правила и репрезентации»[[308]](#footnote-308) имеют скрытый характер, то есть ребенок не осознает своей компетенции и не может ее объяснить. Однако это знание, несомненно, присутствует в организованной системе речевых цепей, находящихся в режиме ожидания письменного слова.

Организация зрительной системы ребенка происходит параллельно. Уже в первые месяцы жизни она достаточно развита, чтобы разбивать зрительную сцену на объекты и отслеживать их движение, даже если в какой‑то момент те ненадолго исчезают[[309]](#footnote-309). В течение первого года жизни младенцы различают объекты, полагаясь на их контуры, текстуру и внутреннюю организацию. Более того, они даже могут заметить разницу между вогнутыми и выпуклыми предметами[[310]](#footnote-310). Глядя на объект под разными углами, они делают выводы относительно его трехмерной формы[[311]](#footnote-311). Эта удивительная способность, по‑видимому, основывается на интерпретации T‑, Y‑ и L‑конфигураций, образующих грани предмета[[312]](#footnote-312). Таким образом, **вся система, которая впоследствии будет перепрофилирована в устройство распознавания букв, закладывается в первый год жизни**. На втором году жизни дети распознают упрощенные версии объектов. Это свидетельствует о том, что они способны извлекать ключевые элементы формы[[313]](#footnote-313).

Не менее подробно было изучено и развитие восприятия лиц. При рождении младенцы обращают особое внимание на лица. Уже в два месяца они активируют область затылочно‑височной коры, которую используют взрослые[[314]](#footnote-314). В течение всего первого года жизни эта ранняя специализация усиливается: дети учатся распознавать лица окружающих их людей. Примерно в девять месяцев система распознавания полностью переключается на человека и теряет способность различать лица других приматов[[315]](#footnote-315). На втором году малыши учатся распознавать лица вне контекста[[316]](#footnote-316). Этот процесс специализации продолжается в течение следующих 10 или более лет, хотя и гораздо медленнее[[317]](#footnote-317).

В настоящее время мы не знаем, в каком возрасте мозаика участков коры, посвященных распознаванию лиц, мест и объектов, принимает свой окончательный вид – некоторые исследования предполагают, что специализация коры может начинаться уже на первом году жизни[[318]](#footnote-318). Несомненно одно: примерно в возрасте пяти‑шести лет, когда ребенок учится читать, ключевой процесс инвариантного зрительного распознавания уже сформирован, хотя и остается максимально пластичным. Следовательно, этот период особенно благоприятен для освоения новых зрительных форм, таких как буквы и слова.

### Три стадии формирования навыка чтения

Но он ведь не пробовал меда, что мы извлекаем из книг. Он, смею так выразиться, не ел бумаги и не пил чернил, так что ум его не получил пищи. Он вроде животного, у которого восприимчивостью обладают только самые грубые органы.

*Уильям Шекспир, «Бесплодные усилия любви»*[[319]](#footnote-319)

Что нужно сделать, чтобы научиться «есть бумагу» и «пить чернила» – то есть читать? В 1985 году британский психолог Ута Фрит предложила модель формирования навыка чтения, которая стала классической и включала три основных этапа научения[[320]](#footnote-320). Это, конечно, теоретическое упрощение: на самом деле стадии четко не разделены. Ребенок проходит их без остановки, в течение нескольких месяцев или лет. Возможно, будущие теории чтения смогут отразить эту непрерывность в рамках унифицированной сети нейронов, в которой репрезентации формируются постепенно, благодаря некоему фиксированному правилу обучения[[321]](#footnote-321). Тем временем, однако, три простых стадии Фрит дают приблизительное представление о тех масштабных изменениях, которые происходят в психике ребенка. Во всяком случае, с точки зрения педагогики они точно описывают динамику научения.

Согласно Фрит, первая стадия чтения начинается примерно в возрасте пяти или шести лет и называется логографической. Ребенок еще не постиг логику письма. Зрительная система пытается распознать слова как объекты или лица. Она опирается на все доступные зрительные признаки: форму, цвет, ориентацию букв, изгибы. На этой стадии, которая часто предшествует формальному обучению, ребенок обычно узнает свое имя и, возможно, несколько других броских слов, например названия торговых марок (CocaCola).

Индивидуальный размер такого визуального словаря сильно варьируется. Некоторым детям удается запомнить несколько десятков слов. У других, особенно носителей прозрачных языков, логографическая стадия заканчивается очень быстро и протекает почти незаметно. В любом случае распознавание целых слов как картинок – это искусственная форма чтения. Частые ошибки свидетельствует о том, что ребенок не расшифровывает внутреннюю структуру слова, а лишь использует несколько поверхностных подсказок. Он легко обманывается визуальным сходством (Chinchilla [шиншилла] читается им как CocaCola), не распознает известные ему слова в новом «обличье» («COCA‑COLA» в верхнем регистре) и не переносит свои знания на родственные цепочки букв вроде «coco»[[322]](#footnote-322). Все эти особенности подсказывают нам, что на этом этапе мозг ребенка пытается сопоставить общую форму слова непосредственно со значением, не обращая внимания на отдельные буквы и их произношение. Разумеется, это не настоящее чтение.

### Осознание фонем

Чтобы выйти за пределы логографической стадии, ребенок должен научиться разбивать слова на составные буквы и связывать их со звуками речи. Развитие механизма преобразования графемы в фонему характерно для второго этапа формирования навыка чтения – фонологического. На этой стадии слова перестают обрабатываться целиком, и ребенок учится обращать внимание на более мелкие составляющие, такие как изолированные буквы и приемлемые группы букв («ch», «ou», «ay» и другие). Он связывает графемы с соответствующими им звуками речи и собирает их в слова. Теперь он может произносить даже те слова, которые ему незнакомы.

Возьмем английский язык. Иногда ребенок знает названия букв («эй», «би», «си», «ди» и так далее). К сожалению, эти знания не помогают – наоборот, они только тормозят процесс овладения чтением. Знание, что «s» произносится как [ess], «k» – [kay], а «i» – [ai], бесполезно при чтении некоторых английских слов, например «ski» [ski: ]. Нельзя собрать слово из названия букв – это можно сделать только посредством фонем. Но фонемы – достаточно абстрактные и неявные речевые единицы. Прежде чем ребенок обнаружит, что речь можно разбить на фонемы и что звук [ба] состоит из двух фонем [б] и [а], в его мозге должна произойти настоящая революция.

Первые годы обучения чтению приводят к формированию материального представления звуков речи. Ключевой этап – осознание того, что речь состоит из фонем, которые можно рекомбинировать для создания новых слов. Эта способность называется фонематической осведомленностью. Исследования психолога Хосе Мораиса показали, что открытие фонем не происходит автоматически и требует специального обучения алфавитному коду[[323]](#footnote-323). Даже взрослые, если они неграмотны, не всегда видят фонемы в словах.

Чтобы подтвердить этот удивительный вывод, Мораис и его коллеги пригласили в свою лабораторию десятки взрослых португальцев. Половина из них научилась читать недавно, а остальные, выходцы из той же социально‑экономической среды, остались неграмотными. Всем испытуемым было предложено сыграть в несколько речевых игр. Например, им задавали следующие вопросы: Если убрать первый звук в слове «порто», что получится? («орто»); Слова «стол» и «слон» начинаются с одного и того же звука? (да); Сколько звуков в слоге «тап»? (три).

Результаты этого эксперимента не оставили сомнений. Неграмотные взрослые терпели неудачу всякий раз, когда игра требовала внимания к уровню фонем. Дополнительные эксперименты показали: люди, не умеющие читать, не испытывали никаких трудностей с различением звуков речи – например, они без труда слышали разницу между [да] и [ба]. Они могли манипулировать слогами и рифмами и понимали, что слова «отвар» и «автор» заканчиваются на один звук. Они не могли уловить только самые мелкие составляющие речи – фонемы. Эта группа не понимала, что одни и те же фонемы могут появляться в разных местах внутри слов или что в словах «танк», «атом» и «брат» имеется общая фонема [т]. Испытуемым не давалась даже простая игра на замещение, в которой первый игрок говорит слово, а второй должен повторить его, заменив первый звук на «п»: например, если один говорит «дар», другой должен ответить «пар» и так далее.

Преподобный Спунер, декан Нового колледжа (Оксфорд, Англия), прославился своими оговорками (однажды он отругал студента за то, что тот «пролектил все его пустии» и «семратил даром целый поестр»[[324]](#footnote-324)). Благодаря исследованиям Хосе Мораиса сегодня мы знаем, что такие игры слов требуют алфавитной грамотности. Расшифровка спунеризмов[[325]](#footnote-325) – например, «Господь наш – пабящий люстырь»[[326]](#footnote-326) – невозможна без фонематической осведомленности. Примечательно, что шумеры с их слоговым письмом, вероятно, не знали о существовании подобных фонематических каламбуров.

Роль фонематической осведомленности доказывает, насколько сильно усвоение алфавитного кода меняет наш мозг. Владение алфавитом не только обеспечивает беглость речи, недоступную неграмотным людям, но и приводит к глубоким культурным различиям. Взрослые китайцы, которые умеют читать только традиционные китайские иероглифы, гораздо хуже справляются с тестами на фонематическую осведомленность, чем те, кто владеет алфавитным письмом пиньинь[[327]](#footnote-327).

Эти открытия крайне важны. Когда ребенок познает расшифровку алфавитного письма, зрительные области его мозга учатся разбивать слово на буквы и графемы. Это означает, что некоторые речевые области должны адаптироваться к явной репрезентации фонем. Идеальная согласованность соответствующих изменений является ключом к формированию эффективного маршрута преобразования букв в звуки.

### Графемы и фонемы: проблема курицы и яйца

На сегодняшний день мы плохо представляем себе причинно‑следственную цепочку, которая связывает приобретение зрительных и лингвистических навыков. Ребенок сначала разбивает речевые сигналы на фонемы и только потом понимает смысл букв? Или, наоборот, ребенок понимает природу буквенного кода до того, как обнаруживает, что речь состоит из фонем? По всей вероятности, это очередная проблема курицы и яйца. Эти два типа навыков настолько тесно связаны между собой, что **невозможно сказать, что появляется первым: графема или фонема**. Очевидно, обе они возникают одновременно и акцентируют друг друга.

Многочисленные данные свидетельствуют о том, что дошкольники, которым легко даются фонологические игры, такие как рифмовка, учатся читать быстрее[[328]](#footnote-328). Более того, манипулирование речевыми звуками в раннем возрасте повышает как фонематическую осведомленность, так и скорость чтения. В связи с этим многие исследователи убеждены, что фонематическая осведомленность является необходимым условием формирования навыка чтения. Другими словами, открытие фонем предшествует выявлению графем.

Однако не так давно Энн Каслс и Макс Колтхарт[[329]](#footnote-329) заметили, что причинно‑следственная связь между фонематической осведомленностью и овладением чтением не так однозначна, как кажется. Большинство экспериментов в этой сфере были проведены с участием детей, которые уже выучили некоторые буквы, а потому могли использовать эти знания для сегментации речи. Кроме того, Каслс и Колтхарт подчеркнули важную роль, которую играет орфография в фонематической обработке. Если вы спросите детей, сколько звуков они слышат в слове «rich», они скажут три (r‑i‑ch), а в слове «pitch» – четыре (p‑i‑t‑ch). Хотя оба слова на самом деле состоят из четырех фонем, письменный код оказывает существенное влияние на их восприятие[[330]](#footnote-330). Аналогичным образом, если вы попросите девятилетнего ребенка убрать звук [n] в таком слове, как «bind», должно быть, он произнесет [bid], а не правильный вариант [bide]. Это еще одна ошибка, связанная с орфографией[[331]](#footnote-331). Вкратце, решая задачи на фонематическую осведомленность, дети автоматически задействуют знания письменного кода. Эксперимент с неграмотными взрослыми (носителями китайского языка) – прямое доказательство того, что без специального обучения алфавитному коду сознательного управления фонемами не возникает.

Судя по всему, в основе связи между освоением графем и фонем лежит постоянное обоюдное взаимодействие, или «спиральная причинность». Освоение букв привлекает внимание к звукам речи, а анализ звуков речи улучшает понимание букв, и так по бесконечной спирали, обеспечивающей одновременное формирование графемного и фонемного кодов.

Непосредственно отследить развитие двух кодов позволяют ошибки, которые допускают при чтении дети. Во всех языках фонологическая стадия характеризуется так называемыми ошибками регуляризации. Ребенок, который только учится читать, может преобразовать несколько букв в звуки, но обычно терпит неудачу, если слово читается не так, как пишется. Например, слово «key» он произнесет [kay], а не [ki: ][[332]](#footnote-332).

Другой признак – эффект сложности слогов. Многие первоклассники с легкостью читают простые слоги с согласной, за которой следует гласная (СГ), но не слоги с несколькими согласными подряд (СГС, ССГС и так далее). Сложные слова, такие как «strict» (СССГССС), вообще не могут быть расшифрованы начинающим читателем[[333]](#footnote-333).

Эти наблюдения свидетельствуют о том, что процесс овладения чтением предполагает постепенный переход от простых правил к сложным. Сначала ребенок учится читать буквы – такие как «b» или «k», – произношение которых следует четким правилам. Затем он учится расшифровывать более сложные и редкие графемы. Он обнаруживает приемлемые комбинации согласных, например «bl», «str», а также запоминает особые их сочетания, например суффикс – tion, читающийся как [ʃən]. Опытный читатель – это прежде всего человек, который имплицитно знает большое количество префиксов, корней и суффиксов и без труда связывает их как с произношением, так и со значением.

### Орфографическая стадия

Когда ребенок достигает определенного уровня компетенции, начинается третья, орфографическая стадия. Шаг за шагом формируется обширный лексикон зрительных единиц разных размеров, содержащий огромный пласт информации о частотности не только самих этих единиц, но и их «соседей». На этом этапе скорость чтения уже не определяется главным образом длиной слова или сложностью графем. Она зависит скорее от того, как часто встречается слово: редкие слова ребенок читает медленнее. Другим важным фактором является количество соседей. Например, слово «моль», окруженное такими употребительными соседями, как «соль» и «боль»[[334]](#footnote-334), читается с меньшей скоростью. Все это отражает постепенное становление второго пути чтения – лексического маршрута, дополняющего декодирование букв в звуки.

Вероятно, наиболее очевидная особенность орфографической стадии заключается в том, что длина слова перестает играть свою роль. На фонологической стадии дети расшифровывают слова медленно и последовательно, по одной букве зараз. Соответственно, чем больше букв в слове, тем ниже скорость чтения[[335]](#footnote-335). На орфографической стадии, когда чтение становится более беглым, эффект длины постепенно исчезает. Именно поэтому у взрослых он практически отсутствует: мы обрабатываем все буквы слова одновременно, по крайней мере в коротких словах (до восьми букв).

Таким образом, для орфографической стадии характерны возрастающий параллелизм и эффективность. Появляется более компактный код, репрезентирующий всю буквенную цепочку за один «снимок». Этот нейронный анализ, организованный подобно иерархическому дереву, может быть без труда передан областям мозга, вычисляющим значение и произношение.

### Мозг юного читателя

Психология предполагает три основные фазы формирования навыка чтения, но их церебральные аналоги пока не определены. Есть ли у каждой стадии своя собственная характеристика мозга? Иными словами, уникален ли набор областей, активных на каждом этапе развития чтения?

Гипотеза нейронного рециклинга утверждает, что специализация зрительной системы происходит постепенно. Отсюда следует, что на первой, графической стадии, когда дети воспринимают слова как картинки, четкой специализации быть не должно: в чтении задействованы оба полушария. С опытом активная зона должна постепенно смещаться к левой затылочно‑височной области «буквенной кассы», отвечающей за зрительное распознавание слов у опытных взрослых.

Если бы мы могли увидеть отдельные нейроны или корковые колонки, мы бы обнаружили масштабные изменения в нейронном микрокоде. Согласно гипотезе рециклинга, каждый урок чтения приводит к нейронной реконверсии: одни зрительные нейроны, ранее связанные с распознаванием объектов или лиц, теперь участвуют в идентификации букв; другие – частых биграмм; третьи – префиксов, суффиксов или повторяющихся слов. Параллельно с этим меняется и нейронный код для устной речи. По мере формирования фонематической осведомленности код трансформируются в более утонченную структуру, в которой фонемы представлены явно. Наконец, если бы мы могли проследить за ростом нервных волокон и рассортировать их в зависимости от функции, мы бы увидели регулярную, похожую на расческу проекцию, которая связывает каждую зрительную единицу с соответствующим ей произношением.

Прежде чем мы двинемся дальше, я должен подчеркнуть, что современные инструменты визуализации не позволяют нам отслеживать развитие навыка чтения непосредственно в мозге ребенка. Вероятно, пройдет еще много лет, прежде чем это станет возможным. Хотя первые снимки детского мозга были получены с помощью функциональной МРТ в конце 1990‑х годов, визуализация развития этого органа до сих пор остается сложной задачей.

Проблема не в этике – в детских больницах МРТ используется уже более 20 лет, даже с новорожденными. Никаких побочных эффектов до сих пор не обнаружено. Ниже хорошо известного порога воздействие магнитных полей безопасно (при условии, конечно, что в зону действия магнита не попадают металлические предметы). Во время испытаний на безопасность некоторые виды животных находились всю жизнь под влиянием очень сильных магнитных полей, и каких‑либо неблагоприятных последствий для их биологического развития не было выявлено[[336]](#footnote-336).

Настоящая проблема с визуализацией развития носит методологический характер. Получить чистые данные в миллиметровом масштабе из мозга маленького ребенка за те полчаса, которые длится сканирование, чрезвычайно трудно. Во всем мире на такой подвиг способны лишь несколько лабораторий. Как правило, во время первого визита дети изучают макет сканера, привыкают к его шуму, примеряют наушники и очки. Кроме того, они должны научиться лежать совершенно неподвижно. Коллеги из Института Саклера в Нью‑Йорке изобрели устройство, которое воспроизводит любимые мультфильмы детей, но тут же выключается, как только они двигают головой. Проникнувшись своей миссией, малыши охотно забираются в «космический корабль» (сканер) и участвуют в МРТ‑экспериментах.

Немногочисленные результаты, полученные на сегодняшний день, показывают, что у человека в возрасте семи лет вид текста активирует нормальную сеть для чтения[[337]](#footnote-337). Область «буквенной кассы» в левой затылочно‑височной коре расположена там же, где и у взрослых. Активны и латеральные височные области. К сожалению, такого рода исследования дают только один моментальный снимок и не позволяют отследить формирование навыка чтения от начала до конца. Чтобы проследить эволюцию этих активаций во времени, необходимы лонгитюдные исследования, предполагающие многократное сканирование одних и тех же детей. Такие испытания пока не проводились: родители неохотно соглашаются участвовать в проектах, рассчитанных на несколько лет и требующих ежемесячных визитов в лабораторию.

В настоящее время единственные достоверные данные получены в рамках «кросс‑секционных» исследований. Подобные эксперименты заключаются в тестировании детей разных возрастных групп. Как оказалось, возраст и скорость чтения соотносятся с активностью мозга. За последние 10 лет Беннетт и Салли Шейвиц из Йельского университета в сотрудничестве с Кеном Пью, ныне работающим в лаборатории Хаскинса, обследовали сотни юных читателей. Полученные ими результаты позволили выявить четкую динамику. По мере совершенствования навыка чтения активация левой затылочно‑височной области возрастает в том самом месте, где у взрослых расположена «буквенная касса»[[338]](#footnote-338). Активность этой зоны сильнее коррелирует со скоростью чтения, чем с возрастом ребенка. Это значит, что она представляет собой подлинную корковую основу овладения этим навыком, а не просто предопределенный эффект созревания мозга.

В небольшой группе детей, менее однородной по возрасту, исследователь из Джорджтаунского университета Гвиневер Иден не обнаружила усиления активности левой затылочно‑височной области при формировании навыка чтения. Однако она заметила явное *снижение* активности *правой* затылочно‑височной области – зеркального двойника «буквенной кассы» в правом полушарии[[339]](#footnote-339). Это наблюдение согласуется с гипотезой о том, что научение включает в себя процесс выборочного прунинга[[340]](#footnote-340). Изначально письменные слова, как и любой другой зрительный образ, вызывают паттерн двусторонней активации. Затем зона активности начинает сужаться и постепенно приобретает более ограниченный фокус, который представляется оптимальным. Нечто подобное прогнозировал Сэмюэль Ортон, отец‑основатель психологии чтения и дислексии. Еще в 1925 году он утверждал, что «процесс научения чтению влечет за собой исключение из фокуса внимания образов памяти недоминантного [правого] полушария»[[341]](#footnote-341).

Усиление строгой локализации функции чтения наиболее отчетливо прослеживается в записях электрической и магнитной активности детского мозга[[342]](#footnote-342). До начала обучения чтению вид написанного слова не приводит к быстрой активации левого полушария, которая наблюдается у взрослых примерно через 170–200 миллисекунд и отражает стабильное распознавание буквенных цепочек. По всей видимости, на самых ранних стадиях овладения чтением за разграничение слов и буквенных цепочек отвечает *правая* затылочно‑височная область. Эта модель правосторонней активации вполне может составлять нейрональную основу «логографической» стадии Уты Фрит. В течение этого периода ребенок запоминает «моментальные снимки» знакомых слов и распознает их по общей форме подобно тому, как взрослый человек узнает знакомые лица. Через несколько лет печатные слова начинают вызывать гораздо большую активность, чем бессмысленные ряды геометрических фигур[[343]](#footnote-343). Паттерн активации свидетельствует о том, что в чтении задействована большая часть зрительной системы в обоих полушариях. Латерализованный ответ из области левой «буквенной кассы» впервые появляется примерно в возрасте восьми лет[[344]](#footnote-344), но специализация еще далека от завершения[[345]](#footnote-345). Даже у 10‑летних детей отрицательный сигнал, возникающий примерно через 170 миллисекунд после предъявления слова, регистрируется только в том случае, если оно употребляется часто и хорошо известно ребенку. Реакция на псевдослова, составленные по всем правилам правописания, например «молтоко» или «коша»[[346]](#footnote-346), отсутствует (в отличие от взрослых). Полной зрелости область «буквенной кассы» достигает только в начале подросткового возраста – при условии, конечно, что ребенок читает регулярно.

Овладение чтением не просто меняет реакцию зрительной коры на письменные слова. Томография показывает масштабные изменения и в речевых областях левого полушария. Выраженные модификации наблюдались в верхней височной борозде и левой нижней префронтальной коре (зоне Брока), связанной с восприятием фонем и артикуляцией. Активация возрастает прямо пропорционально развитию фонематической осведомленности[[347]](#footnote-347), то есть способности мысленно управлять элементарными звуками языка. В системе, отвечающей за устную речь, эти две области, вероятно, служат главными точками опоры для чтения.

### Неграмотный мозг

**Грамотность кардинально меняет мозг!** Как показывает одно увлекательное исследование, мозговая активность грамотных и неграмотных людей абсолютно разная. Хотя этот эксперимент не имеет прямого отношения к развивающемуся мозгу, он позволяет оценить влияние грамотности на нейронные связи и тем самым проливает косвенный свет на приобретение навыка чтения. В этом случае мозг взрослого помогает понять мозг ребенка.

Чтобы визуализировать основные трансформации, происходящие при формировании навыка чтения, Александр Кастро‑Кальдас и его коллеги сравнили мозг грамотных и неграмотных взрослых[[348]](#footnote-348). Основная трудность при проведении таких исследований заключается в отборе участников. Неграмотность может быть следствием социальной изоляции, а также генетических или неврологических заболеваний, которые сами по себе могут вызывать глубокие изменения в церебральной активности. В идеале исследователь должен сравнить двух здоровых и в остальном идентичных субъектов – умеющего и не умеющего читать. Чтобы найти неграмотных добровольцев, происходивших из одной социальной и культурной среды, Кастро‑Кальдас воспользовался ситуацией, которая раньше была довольно распространенной в Португалии. В 1930‑е годы родители из бедных слоев населения не могли отправить *всех* своих детей в школу. По этой причине старшая дочь обычно оставалась дома, чтобы заботиться о младших детях. Сравнив двух сестер из таких семей, мы можем оценить влияние школьного обучения и грамотности на организацию мозга.

В рамках международного сотрудничества в Каролинский институт в Стокгольме прилетели 12 португальских женщин. Половина из них были неграмотными. Во время анатомической МРТ и ПЭТ‑сканирования их просили повторять португальские слова и псевдослова. Результаты показали, что, несмотря на схожий словарный запас, неграмотные испытуемые хуже справлялись с задачей, связанной с псевдословами. Вместо того чтобы добросовестно повторять бессмысленные стимулы, они часто путали их с настоящими словами – например, произносили «capeta» как «cabeza» («голова») или «travata» как «gravata» («галстук»). Такое поведение подтверждает гипотезу о том, что чтение повышает фонематическую осведомленность. Осваивая алфавит, мы приобретаем новую способность раскладывать речь на элементарные составляющие и осознавать отдельные фонемы в устном потоке. Для начитанных взрослых характерен универсальный фонемный код, облегчающий запоминание речевых звуков, даже если они бессмысленны. Неграмотные, у которых этот аналитический код отсутствует, вынуждены полагаться только на грубые аналогии уже знакомых им слов. Такая стратегия сильно ухудшает память на псевдослова.

Визуализация мозга неграмотных испытуемых показала, что за пределами правой префронтальной области, задействованной в извлечении воспоминаний, разница между восприятием на слух слова и псевдослова была минимальна. Это означало, что псевдослова отождествлялись с настоящими словами. Грамотным женщинам была свойственна совсем иная реакция. Наиболее значительные изменения наблюдались в переднем островке – области, расположенной очень близко к зоне Брока и активной у детей во время обучения чтению. Другие различия касались всего левого полушария. Судя по всему, грамотный мозг задействует гораздо больше ресурсов левого полушария, чем неграмотный – даже когда мы просто *слушаем* речь.

Удивительно, но уровень грамотности не только менял активность мозга во время выполнения заданий по слушанию речи – он вел к трансформациям в самой его анатомии. Так, задняя часть мозолистого тела, соединяющего теменные области обоих полушарий, у грамотных испытуемых была толще, чем у безграмотных[[349]](#footnote-349). Это макроскопическое наблюдение не только подразумевает значительное усиление обмена информацией между двумя полушариями, но и объясняет увеличение объема вербальной памяти у образованных людей.

В «Федре» Платон пересказывает воображаемый диалог между египетским царем Тамусом и Тевтом, богом с головой ибиса, который изобрел письмо. Тевт говорит: «Эта наука, царь, сделает египтян более мудрыми и памятливыми, так как найдено средство для памяти и мудрости». Царь Тамус возражает:

В души научившихся им [письменам] они вселят забывчивость, так как будет лишена упражнения память: припоминать станут извне, доверяясь письму, по посторонним знакам, а не изнутри, сами собою. Стало быть, ты нашел средство не для памяти, а для припоминания. Ты даешь ученикам мнимую, а не истинную мудрость. Они у тебя будут многое знать понаслышке, без обучения, и будут казаться многознающими, оставаясь в большинстве невеждами, людьми трудными для общения; они станут мнимомудрыми вместо мудрых[[350]](#footnote-350).

Спустя 4000 лет психологические исследования доказали правоту Тевта и опровергли доводы Тамуса и Платона: научение чтению заметно улучшает вербальную память. Неграмотные люди могут запомнить суть рассказов и стихов, но их вербальная рабочая память (временный буфер, в котором мы храним инструкции, рецепты, имена и телефонные номера) значительно уступает нашей. Хотя более точные методы визуализации позволили распространить мозговые корреляты неграмотности, открытые Кастро‑Кальдасом, на более широкую группу испытуемых, он первым продемонстрировал, что школьное обучение и грамотность трансформируют врожденные возможности нашего мозга. Образно говоря, школа прививает нам вирус чтения. Он быстро распространяется на речевую систему и расширяет объем вербальной памяти. Дети, которые учатся читать, возвращаются из школы «буквально изменившимися». Их мозг уже никогда не будет прежним.

### Что мы теряем

Безусловно, основное влияние грамотности на мозг носит положительный характер: обучение чтению дает нам выраженное когнитивное преимущество. Однако если гипотеза нейронного рециклинга верна, то у грамотности есть своя цена. Чтение оккупирует нейронные цепи, предназначенные для другой цели, и, вероятно, **приводит к потере некоторых когнитивных способностей, которые человек приобрел в ходе эволюции**.

Этот аргумент основан на следующем наблюдении: на определенном уровне реорганизация коры – это «игра с нулевой суммой». За редким исключением, количество корковых нейронов фиксировано. Те, что будут посвящены распознаванию слов, уже не смогут выполнять другие функции. Таким образом, приобретение навыка чтения, скорее всего, ведет к сужению коркового пространства, доступного для иных видов умственной деятельности. Гипотеза нейронного рециклинга заставляет нас задуматься о том, не обладали ли наши неграмотные предки зрительными навыками, которые мы утратили?

Прежде чем я продолжу, я бы хотел подчеркнуть, что эта гипотеза носит спекулятивный характер и не имеет экспериментального обоснования. Все имеющиеся данные об утрате мозговых компетенций в результате обучения чтению неоднозначны и крайне скудны. Во‑первых, до сих пор точно не установлено, действительно ли корковая оболочка фиксирована и не способна к развитию. Хотя число нейронов имеет свой предел, синапсы определенно пластичны. Даже в мозге взрослого человека научение может радикально трансформировать нейронные связи. Дерево дендритов и аксонов, определяющих количество клеток, которые взаимодействуют с определенным нейроном, корректируется в зависимости от сложности окружающей среды. Подобные колебания открывают целую вселенную пластичности, границы которой пока неизвестны. Научение едва ли является подлинной игрой с нулевой суммой: внешняя стимуляция нередко приводит к значительному увеличению плотности нейронных связей.

Помимо этого, мы не уверены, что один нейрон не может выполнять несколько функций одновременно. Как показывают исследования, «ассоциативные» нейроны в префронтальной, височной и теменной коре участвуют в разных нейронных ансамблях. Нейрон теменной коры, например, может реагировать на определенное количество объектов, а также на движение – то есть осуществлять две, казалось бы, не связанные между собой операции[[351]](#footnote-351).

Научение уточняет нейронный код. Нетренированному мозгу присуща значительная избыточность, причем многие клетки выполняют одну и ту же функцию грубой дискриминации. Научение приводит к более точным репрезентациям, когда каждый нейрон реагирует на узкий диапазон стимулов. Когда обезьяна, например, осваивает задачу на мануальное распознавание, ее нейроны начинают реагировать на более тонкую полосу кожи. Карта коры, представляющая тактильные сигналы от соответствующих пальцев, расширяется и становится точнее. Занятия музыкой влияют на людей аналогичным образом. Пианистам и скрипачам свойственны более обширные и точные корковые карты левых рук, особенно если они начали играть в раннем детстве.

Во время тактильной тренировки карта пальцев вторгается на близлежащие территории, обычно отвечающие за плечо или лицо. Хотя это может отрицательно сказаться на восприятии других частей тела, верно и обратное: занятия могут привести к положительному переносу. То, что нейроны усвоили для функции А, может оказаться полезным для функции Б. Мануальная ловкость скрипачей, вероятно, повышает их способность к обучению печатному делу или шитью.

Итак, мы пока не знаем, является ли суммарный эффект научения всегда положительным, или возможны случаи, когда он окажется отрицательным. Вернемся к чтению. Распознавание букв, вероятно, повышает остроту зрения. И действительно, образованные люди лучше воспринимают геометрические фигуры, чем безграмотные[[352]](#footnote-352). В настоящее время такие сравнения позволили выявить только положительные следствия грамотности. До сих пор не было проведено ни одного серьезного исследования, которое дало бы ответ на следующий вопрос: может ли чтение негативно влиять на когнитивные функции, и если да, то на какие? Многие фундаментальные вопросы, связанные с корковыми предшественниками чтения, по‑прежнему остаются без ответа. За что отвечала наша «буквенная касса» до того, как мы научились читать? Играла ли эта область важную роль в эволюции? Есть ли у нее изначальная и четко определенная функция, которая исчезает у опытных читателей?

Антропологи, изучающие амазонских, новогвинейских и африканских охотников‑собирателей, не устают удивляться способности аборигенов *читать* мир природы. С какой удивительной легкостью они расшифровывают следы животных! Тщательный осмотр сломанных веток или едва заметных отпечатков на грязи подсказывает им, какое животное здесь побывало, его размеры, направление, в котором оно двигалось, а также целый ряд других подробностей, важных для охоты. В большинстве своем мы «неграмотны» в отношении всех этих естественных подсказок. Вполне возможно, что расшифровка следов животных и есть корковый предшественник чтения. Если эволюция сумела изобрести такие вещи, как орлиный глаз или прыжок леопарда, то, несомненно, могла модифицировать и зрительный мозг охотника. Интенсивное избирательное давление, обусловленное миллионами лет взаимодействия между хищником и добычей, вероятно, заставило участок коры головного мозга специализироваться на считывании следов животных.

Мои размышления подтверждает китайская историческая традиция. Согласно легенде, на изобретение китайской письменности людей вдохновили следы животных. Во время правления императора Хуан‑Ди (около 2600 года до нашей эры) один из его министров, Цан Цзе, счел, что следы разных видов птиц представляют собой набор легко узнаваемых форм, и использовал их для создания первых китайских иероглифов.

Эта легенда напоминает мистическую метафору книги Природы, захватившую воображение многих богословов и ученых, включая Галилея. Возможно, мы медленно учимся расшифровывать природный мир, как если бы он был открытой книгой, написанной Богом. Луис де Гранада, богослов, писатель и проповедник XVI века, в своем «Введении в символ веры» писал:

Что есть весь этот видимый мир, если не большая и чудесная книга, которую ты, Господь, написал и поднес к глазам народов всего мира?.. Что же тогда представляют собой все творения этого мира, столь прекрасные и совершенные, как не богато освещенные буквы, провозглашающие изящество и мудрость их автора?

Аналогичные убеждения высказывает сэр Томас Браун, английский писатель XVIII века:

Перст Божий оставил надпись на всех своих произведениях, не графическую или составленную из букв, но из их различных форм, составов, частей и операций, которые удачно соединяются вместе, образуя одно слово, выражающее их природу.

Спустимся с этих мистических высот и вернемся к реальной жизни, в лабораторию. Как можно проверить гипотезу о корковой конкуренции между чтением слов и распознаванием следов животных? В первую очередь необходимо отобрать ряд естественных изображений, таких как лица, человеческие тела, животные, следы, деревья, растения, минералы, реки и облака. Затем мы должны изучить паттерны активности, которые они вызывают на поверхности зрительной коры. Проблема с этим экспериментом заключается в том, что он требует выполнения двух условий: а) сравнения двух групп людей одного возраста – грамотной и неграмотной; б) жесткого контроля всех остальных аспектов их зрительной среды.

Хотя это трудно осуществить, игра стоит свеч. Такое исследование точно покажет, нарушает ли усвоение навыка чтения существовавшую ранее мозаику зрительной активации. По мере формирования реакции на письменные слова некоторые участки коры могут смещаться, сужаться или вообще исчезать. Не исключено, что навык чтения приводит к заметному ослаблению реакции на следы животных, а также к ее смещению в сторону правого полушария или даже полному уничтожению.

На момент написания книги ни одна из этих идей не была проверена экспериментально. Хотя моя исследовательская группа надеется восполнить этот пробел в ближайшие несколько лет, главное препятствие будет заключаться в выявлении популяции неграмотных субъектов, доступных для сканирования с учетом всех этических соображений. Тем временем понятие корковой конкуренции, обусловленной нейронным рециклингом, может быть изучено на примере других областей мозга. Все мы знаем людей, увлеченных той или иной категорией визуального опыта, например автомобилями или птицами, и готовых тратить на них столько же времени, сколько некоторые из нас посвящают чтению. Что, если мозг любителя автомобилей, способного мгновенно отличить *Studebaker Gran Turismo* от *Alfa Romeo Giulietta*, тоже реорганизован? Ведут ли знания о десятках разновидностей таких птиц, как шилоклювка и вальдшнеп, к развитию совершенно новой области мозга? Наконец, имеет ли экспертность такого рода свою когнитивную цену?

Некоторые из этих вопросов в настоящее время изучаются структурой «экспертов по экспертам» под руководством канадского психолога Изабель Готье и ее коллег. Помимо специалистов по автомобилям и птицам, они привлекли к исследованию несколько оплачиваемых добровольцев. Последние часами изучали забавные виртуальные фигурки «greebles», бросающие вызов системе зрительного распознавания.



Томография головного мозга показала, что все три разновидности узкоспециализированных знаний усиливают затылочно‑височные реакции на соответствующие объекты. Зрительный мозг автолюбителя лучше реагирует на машину Studebaker, чем на шилоклювку. В мозге орнитологов, естественно, происходит прямо противоположное[[353]](#footnote-353).

Готье и Майкл Тарр пришли к выводу, что экспертные знания систематически вторгаются в области коры, ранее отвечавшие за обработку лиц. В итоге между лицами и автомобилями (или птицами) возникает конкуренция, поскольку и те, и другие обрабатываются в одной «экспертной» области[[354]](#footnote-354). Как показывают данные, реакция на лица заметно снижается при соперничестве этой категории с репрезентацией других объектов, будь то автомобили или смоделированные фигурки[[355]](#footnote-355). Во время теста на восприятие лиц эксперты по машинам и птицам теряли несколько баллов, если эффективность распознавания лица измерялась путем оценки способности мозга объединять его части в однородное целое («холистическое» восприятие).

Хотя эти результаты неокончательны, они наводят на мысль, что в идее корковой конкуренции, являющейся прямым следствием гипотезы нейронного рециклинга, может быть зерно истины. Посвящая время чтению или орнитологии, мы «торгуем» корковым пространством. Очевидно, это уменьшает ресурсы мозга, доступные для других навыков. В первую очередь страдает наша способность распознавать лица.

### Разноцветные буквы

А – черно, бело – Е, У – зелено, О – сине, И – красно… Я хочу открыть рождение гласных.

*Артюр Рембо, «Гласные»*[[356]](#footnote-356)

Гипотезу, согласно которой овладение чтением конкурирует с уже существующими корковыми репрезентациями, подтверждают данные из весьма неожиданного источника. Некоторые люди, например французский поэт Артюр Рембо, убеждены, что буквы «А», «Е» или «У» – разноцветные. Ощущения такого рода называются синестезией. Синестезия – это причудливое сочетание сенсорных модальностей, которое служит еще одним доказательством нейронного рециклинга[[357]](#footnote-357).

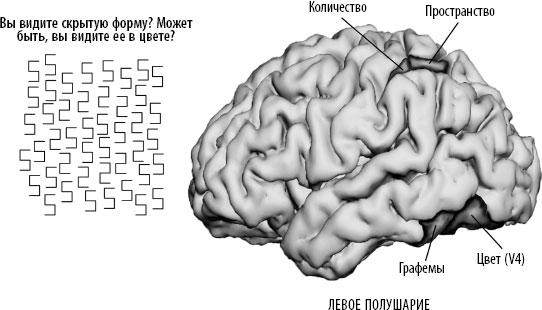
У синестетов пять чувств не разделены, но, по всей видимости, активируют друг друга. Синестезия может принимать разные формы. Один человек видит цвет и движение всякий раз, когда слышит голос или музыку. Другой наблюдает цветной ореол вокруг букв или цифр. Третий убежден, что числа занимают фиксированное положение на внутреннем континууме, который изгибается в двух или трех измерениях[[358]](#footnote-358).

Эти странные заявления – не просто плод воображения поэта. Большинство синестетов вовсе не чудаки, а вполне уравновешенные люди. В их числе – известные деятели искусства (Кандинский, Мессиан, Набоков), ученые (Ричард Фейнман, Никола Тесла) и великое множество самых обычных людей. Каждый настаивает на том, что он просто так видит. Говорят, сам Рембо однажды признался своему другу Эрнесту Делаэ, что написал свое знаменитое стихотворение «Гласные» не просто так: «Мне кажется, иногда я тоже так вижу и чувствую, и я прямо об этом говорю, я рассказываю об этом, ибо нахожу это столь же любопытным, как и все остальное».

Недавние эксперименты показывают, что синестезия сродни перцептивной иллюзии. Описывая буквы, синестеты всегда выбирают одни и те же оттенки, тогда как несинестеты через некоторое время называют оттенки, отличающиеся от тех, которые они озвучивали изначально. Кроме того, синестеты обладают и другими талантами, которые невозможно симулировать[[359]](#footnote-359). Если среднестатистический человек с трудом находит цифру 2 среди огромного количества цифр 5, так как их формы похожи, то синестеты видят ее сразу, ведь их цвета отличаются (рис. 5.1).

По всей вероятности, важную роль в синестезии играет научение. Синестет видит цветными не все объекты и фигуры – в большинстве случаев это касается только букв и цифр. Именно эти символы усваиваются в позднем детстве. Известны случаи синестезии и во многих других категориях человеческой культуры, таких как устные слова, звуки речи, симфонии, музыкальные инструменты… даже вкус блюд.

Тот факт, что эта особенность возникает исключительно в отношении усвоенных культурных объектов, предполагает тесную связь с природой нейронного рециклинга. Моя гипотеза гласит, что каждый новый культурный объект должен найти свою «нейрональную нишу» на поверхности коры. В ходе этого процесса он вынужден конкурировать с уже существующими репрезентациями. Это нейрональное соперничество может создать временную путаницу на кортикальном уровне[[360]](#footnote-360). В случае чтения активация, вызванная письменными словами, изначально рассеянна. Она блуждает по зрительной системе, пока окончательно не сконцентрируется в левой затылочно‑височной области «буквенной кассы». Как только это произойдет, остальная часть мозга «сообразит», что нейронные сигналы, поступающие из этой области, теперь кодируют слова, а не цвета. Однако у синестетов, как я предполагаю, нейроны никак не могут «решить», чему себя посвятить: буквам или цветам.



**Рис. 5.1.** Синестезия – перекрестное взаимодействие сенсорных модальностей – может быть связана с частичным сбоем в нейронном рециклинге. Некоторые синестеты утверждают, что видят цифры и буквы разноцветными – например, «а» имеет красный цвет, «е» – синий и так далее. Тесты показывают, что это не смутное субъективное ощущение, а подлинная зрительная иллюзия: синестеты без труда различают цифры 2 и 5, поскольку видят их в разных цветах. У таких людей вид цифр или букв активирует не только левую затылочно‑височную область «буквенной кассы», но и соседнюю область V4, связанную с цветовым зрением. Это ведет к нейронному коду, в котором буквы и цвета смешаны. Другие синестеты видят числа в пространстве – ассоциация, которая может быть связана с частичным пересечением теменных областей, отвечающих за количество и пространство. *Использовано с разрешения Эда Хаббарда.*

С помощью МРТ Эдвард Хаббард смог подтвердить часть этого сценария. Он просканировал несколько взрослых синестетов, которые ассоциировали буквы с цветами, и заметил необычную модель активации[[361]](#footnote-361). Обычно вид букв возбуждает четко очерченную область коры, задняя часть которой лежит очень близко к другой зрительной области, так называемой зоне V4. Она играет центральную роль в восприятии цвета. Классический способ изолировать зону V4 состоит в том, чтобы сравнить реакции на картинки, составленные из множества цветных прямоугольников, как у голландского художника Пита Мондриана, с ответом на аналогичные черно‑белые изображения. Хаббард обнаружил, что у синестетов зоны, реагирующие на буквы и цветовые пятна, частично пересекаются – как будто нейронный рециклинг по какой‑то причине дал сбой, и процесс разделения труда остался незавершенным. В итоге корковая мозаика «застряла» на промежуточной стадии специализации. Почему? Возможно, зрительная кора синестета подчинена жестким правилам пластичности, которые оказываются неуместными, когда мозгу нужно пересмотреть корковый код. Хаббард и Вильянур Рамачандран предполагают, что синестезия может быть вызвана мутацией генов, участвующих в синаптическом прунинге во время развития мозга[[362]](#footnote-362). Поскольку это явление часто наблюдается сразу у нескольких членов семьи, оно может предполагать генетическую передачу, возможно, связанную с Х‑хромосомой.

Однако, если моя идея верна, синестезия – это не просто генетическая аномалия, а проблема, которая систематически возникает в процессе рециклинга коры. Таким образом, прежде чем корковые карты букв и цветов обретут свой окончательный вид, временная форма синестезии должна быть характерна для всех детей. Гипотеза о том, что все дети являются синестетами, не лишена оснований. Даже младенцы воспринимают четкую связь между резкими звуками и маленькими заостренными предметами[[363]](#footnote-363). Один из моих детей, когда ему было семь лет, ясно видел цифры 1, 2, 3, 4, 5 и 9 в цвете. Через несколько месяцев цвета немного изменились, а в возрасте восьми лет внезапно исчезли. «Я помню, что видел цифры разноцветными, – говорит он, – но теперь я так не могу». Насколько мне известно, ни одно систематическое исследование не было посвящено изучению этого явления у обычных детей. Однако вполне вероятно, что преходящее ассоциирование символов и цветов в детском возрасте может служить маркером продолжающейся перестройки коры во время овладения чтением.

### От нейронауки к педагогике и образованию

Итак, мы убедились, что формирование навыка чтения влечет за собой масштабные функциональные изменения в мозге детей. Сначала они должны открыть фонемы, затем сопоставить буквы со звуками и, наконец, построить второй маршрут для чтения – лексический. Этот процесс подразумевает поиск подходящей «нейрональной ниши» для письменных слов в мозаике областей, отвечающих за восприятие лиц, объектов и цветов.

С практической точки зрения важно выяснить, можем ли мы воспользоваться этими научными достижениями для улучшения качества преподавания. Приводит ли лучшее понимание механизмов чтения к четким выводам относительно оптимальных методик обучения? Существуют ли педагогические приемы, которые значительно облегчают переход к взрослому состоянию?

Разумеется, здесь нужна особая осторожность. Лично я убежден, что нейронаука еще слишком молода, чтобы носить предписательный характер. Теоретические знания, накопленные в лаборатории, и фактическую работу в школьном классе разделяет глубокая пропасть. На прикладном уровне возникает множество вопросов, которые зачастую эффективнее и быстрее решают учителя, а не ученые‑теоретики. Однако визуализация мозга и психологические данные не могут быть отделены от значимых педагогических дискуссий. Вопреки всякому релятивизму, не существует 100 различных способов научиться читать. Это неправда. Каждый ребенок уникален… но если говорить о чтении, то все дети имеют примерно идентичный мозг, который накладывает одинаковые ограничения и требует определенной последовательности обучения. Следовательно, мы поступим разумно, если тщательно проанализируем выводы – не предписания – когнитивной нейронауки, которые могут пригодиться в сфере педагогики и образования[[364]](#footnote-364).

Начать с определения того, что такое чтение, *не* лучшая идея. Мы‑то умеем читать и давно забыли, насколько это трудно на самом деле. Большинство из нас склонны думать, будто одного взгляда на слово достаточно, чтобы мгновенно идентифицировать его целиком. Однако это очень далеко от истины. Мозг не переходит от образа слова непосредственно к его значению. Чтобы декодировать слово, необходимо осуществить целый ряд ментальных и церебральных операций. Наш мозг разбивает каждую буквенную цепочку на составные элементы, а затем заново складывает ее в иерархию букв, биграмм, слогов и морфем. Чтение, не требующее усилий, лишь свидетельствует о том, что эти стадии декомпозиции и рекомпозиции стали полностью автоматическими и бессознательными.

На основании этого определения можно сформулировать цель обучения чтению. Этот процесс должен быть направлен на построение эффективной нейронной иерархии – так, чтобы ребенок мог распознавать буквы и графемы и легко преобразовывать их в звуки речи. От этого решающего шага зависят все остальные важные аспекты грамотного сознания: правописание, богатство словарного запаса, нюансы значений, удовольствие от чтения литературы. Бессмысленно описывать все плюсы чтения детям, если они не обеспечены средствами для овладения этим искусством. Без фонологического декодирования письменных слов их шансы невелики. Многочисленные исследования, в которых приняли участие как дети, так и неграмотные взрослые, показывают: преобразование графем в фонемы трансформирует не только сам мозг ребенка, но и способ, которым он обрабатывает звуки речи. Этот процесс преобразования письменных слов в цепочки фонем требует специального обучения. Он не развивается спонтанно и должен быть приобретен. Прямой маршрут чтения, ведущий от буквенных цепочек прямо к их значениям, начинает работать лишь спустя годы активного использования фонологического маршрута декодирования.

### Фонетический подход против метода целых слов

Когнитивная психология опровергает эффективность обучения с помощью глобального чтения, или метода целых слов. Я должен особо подчеркнуть этот момент, поскольку педагогические стратегии такого рода некогда были очень популярны и до сих пор не утратили привлекательности для некоторых учителей. В рамках этой методики детей учат распознавать прямые ассоциации между написанными словами или целыми предложениями и их соответствующими значениями. Предполагается, что освоение чтения сродни овладению родным языком: погрузившись в мир письменных текстов, ребенок сам научится читать. Наиболее ярые сторонники метода целых слов отрицают необходимость обучения систематическим соответствиям между графемами и фонемами. Они утверждают, что это знание возникнет самопроизвольно, под влиянием слов и их значений.

Хотя утверждения сторонников метода целых слов могут показаться странными, его создатели руководствовались благими побуждениями. Они выступали решительно против однотипных упражнений, которые, по их мнению, превращали детей в автоматы, способные разве что бубнить глупые фразы вроде «Мама мыла раму». Также отвергался фонетический подход, так как он якобы отвлекает от значения, а именно извлечение смысла и есть главная цель обучения чтению. Основной упор делался на понимание текста и предоставление содержательных историй. Сторонники глобального чтения утверждали, что фразы гораздо интереснее, чем слова, правила правописания или скучное преобразование букв в звуки. Благодаря методу целых слов, считали они, дети получают возможность «построить свою собственную учебную среду» и самостоятельно узнать, что такое чтение. Не имеет значения, если при этом они играют в «угадайку» и читают «Киса хочет кушать» вместо «Кошка выпила молоко» – самостоятельность ребенка и удовольствие от понимания текста гораздо важнее точности расшифровки отдельных слов.

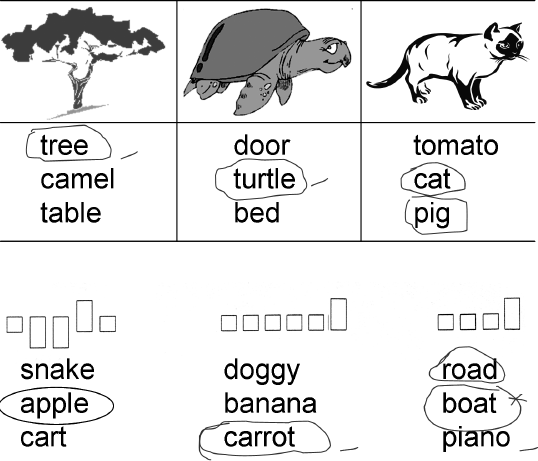
Споры между сторонниками метода целых слов и приверженцами фонетического подхода бушевали по всему миру по меньшей мере 50 лет. В Соединенных Штатах эта «борьба» достигла кульминации в 1987 году, когда штат Калифорния в рамках новой учебной программы принял законопроекты, отдающие предпочтение методу целых слов, а не базовым навыкам декодирования. Всего за несколько лет показатели скорости чтения в Калифорнии резко упали. В 1993 и 1994 годах данные, собранные в ходе проекта NAEP (*National Assessment of Educational Progress*), показали, что навыки чтения трех из четырех детей в штате были ниже среднего для их возраста. В катастрофическом ухудшении результатов тестов по чтению, разумеется, обвинили метод целых слов. Последовала обратная реакция. Радикальная реформа привела к тому, что большинство школ вернулось к систематическому преподаванию звуко‑буквенных соответствий, руководствуясь заключениями обзора, опубликованного Национальной комиссией по чтению (*National Reading Panel*)[[365]](#footnote-365).

В настоящее время от метода целых слов официально отказались. Тем не менее я подозреваю, что в сознании многих учителей этот вопрос отнюдь не закрыт. Как показывает практика, сторонники метода целых слов не сдают позиций. Они убеждены, что их подход лучше всего отвечает потребностям детей. Как во Франции, так и в Соединенных Штатах усилия по примирению двух лагерей привели к нездоровому компромиссу, получившему название смешанной (сбалансированной) техники обучения чтению.

Преподаватели настолько сбиты с толку постоянными колебаниями от одного образовательного подхода к другому, что выбирают методику наугад. Метод целых слов был официально раскритикован, но либо по инерции, либо по привычке до сих присутствует в учебниках по чтению и программах подготовки учителей. Даже если сегодня основной акцент сделан на графемно‑фонемных соответствиях, элементы метода целых слов по‑прежнему используются в учебном процессе – например, сопоставление слова с картинкой, распознавание общего контура слов, зрительное определение имени и фамилии ребенка (рис. 5.2).

Было бы несправедливо обвинять во всем только педагогов. На самом деле бремя вины должны нести как учителя, так и психологи, не менее рьяно отстаивавшие метод целых слов[[366]](#footnote-366). Еще в XVIII веке в «Педагогический словарь» Николя Адама (1787) были включены прогрессивные идеи аббата Радонвилье. Последний сетовал, что процесс разделения слов на слоги «мучает» детей, заставляя их «запоминать огромное количество букв, слогов и звуков, которые для них ничего не значат». Вместо этой пытки аббат предлагал «забавлять детей целыми словами», написанными на карточках. На рубеже XIX века психолог Джеймс Маккин Кэттелл из Пенсильванского университета заявил, что целые слова распознаются быстрее, чем отдельные буквы. Это открытие, казалось, говорило в пользу метода целых слов.

Исследование продолжил швейцарский психолог Эдуард Клапаред, для которого формирование навыка чтения опиралось на синкретическое восприятие, характерное для маленьких детей. В 1930‑х годах бельгийский врач и психолог Овидий Декроли включил эти идеи в свой идеовизуальный (глобальный) метод чтения, который затем распространился на несколько европейских стран и получил поддержку таких выдающихся ученых‑психологов, как Жан Пиаже и Анри Валлон.



**Рис. 5.2.** Несмотря на свою неэффективность, метод целых слов продолжает вдохновлять педагогов во всем мире. Приведенные выше образцы заданий все еще используются в некоторых школах в течение первых нескольких недель обучения чтению. Например, ребенка просят соединить целое слово с соответствующим изображением (вверху). Он, конечно, совершает грубые ошибки и периодически выбирает «pig» («свинья») вместо «cat» («кошка»). Это говорит о том, что он не осознает алфавитный принцип. Кроме того, ребенка учат обращать внимание на общие контуры восходящих и нисходящих букв. Заметьте, на слове «boat» ошибается даже учитель. Эти упражнения никак не связаны с тем, как наш мозг распознает слова.

Акцент на глобальной форме слова вторгся даже в мир типографики, где для обозначения контуров слов придумали специальный термин – «баума» (в честь голландского психолога Германа Баума). В надежде улучшить читабельность, типографы умышленно изобретали шрифты, обеспечивавшие характерные зрительные «баумы»[[367]](#footnote-367).

### Миф о чтении целыми словами

**Как ни странно, и ученые, и педагоги активно поддерживали вывод, который, как мы знаем сегодня, был в корне ошибочным.** Почему? Аргументы, говорившие в пользу чтения целых слов, и их опровержение современными экспериментами заслуживают тщательного анализа. В одной из недавно опубликованных статей перечислены по меньшей мере четыре утверждения – четыре глиняных столпа метода целых слов[[368]](#footnote-368).

1. **Скорость чтения не зависит от длины слова**.

Чтение коротких и длинных слов (до восьми букв) занимает у нас почти одинаковое время. Это доказанный факт. На первый взгляд он свидетельствует о том, что распознавание слов не основывается на их систематическом разбиении на буквы. Чтение действительно кажется элементарной и мгновенной операцией, предполагающей обработку буквенной цепочки как единого целого. Однако современные научные исследования доказывают, что это не так. Даже если длина слова не оказывает никакого влияния на взрослых читателей, это не значит, что наш мозг не обращает внимания на буквы. Дело в том, что наша зрительная система обрабатывает все буквы одновременно и параллельно, а не одну за другой. У маленьких детей этот процесс протекает иначе. В течение первых нескольких лет обучения скорость чтения напрямую зависит от количества букв в слове. Лишь спустя годы эффект длины слова полностью исчезает. Все это говорит о том, что чтение не является глобальным, целостным процессом – особенно в детстве.

2. **Целое слово распознается быстрее и эффективнее, чем отдельные буквы.**

Этот эффект, открытый Кэттеллом и позже воспроизведенный Джеральдом Райхером, получил название «эффект превосходства слова». Мы обсуждали его в главе 1. Это наблюдение не вызывает сомнений, но больше не рассматривается как доказательство того, что распознавание целых слов предшествует извлечению букв. Напротив, последние исследования показывают, что эффективность прочтения слова, скрытого в зрительном шуме, напрямую связана со скоростью распознавания составляющих его букв[[369]](#footnote-369). Если мы быстрее реагируем на целое слово, то это потому, что ориентация сознательного внимания на более высокие уровни корковой иерархии требует меньших усилий, чем доступ к идентичности отдельных букв, даже если они извлекаются на более ранних стадиях зрительной обработки[[370]](#footnote-370). По всей вероятности, это связано с количеством задействованных нейронов. Слово «плод» от слова «плот»[[371]](#footnote-371) отличают множество нейронов на нескольких лексических, семантических и фонологических уровнях, тогда как на отдельные буквы «д» и «т» отвечает лишь ограниченный набор зрительных детекторов. Конечно, это не означает, что восприятие слов предшествует распознаванию букв. Это означает, что различия между буквами усиливаются на более высоких уровнях обработки слова.

3. **Слова, напечатанные строчными буквами, мы читаем немного быстрее, чем те, что написаны прописными буквами.**

Для сторонников метода целых слов скорость, с которой мы читаем строчные буквы, отражает уникальный зрительный паттерн восходящих и нисходящих букв, таких как «б», «в», «у» и «p». Эти буквы образуют контурно‑специфическую сигнатуру каждого слова – «бауму» типографа. Когда слово записано прописными буквами – а все прописные буквы одинакового размера, – характерный контур исчезает, и скорость чтения снижается. Хорошая теория, но она не работает. Человек, который использует контуры для распознавания слов, не просто будет читать медленнее – он вообще не сможет идентифицировать слова из прописных букв. Равным образом ему не удастся прочитать и СлОвА, НаПеЧаТаНнЫе В СмЕшАнНоМ рЕгИсТрЕ. Однако все мы знаем, что такие буквенные цепочки абсолютно читабельны. Как мы видели в главе 2, область «буквенной кассы» определяет верхний и нижний регистр даже на подпороговом уровне. Таким образом, небольшое замедление, наблюдаемое при чтении прописных букв, не стоит внимания. По всей вероятности, оно связано тем, что такие формы просто встречаются реже.

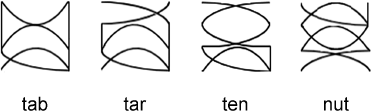
4. **Опечатки, которые не нарушают общий контур слова, обнаружить труднее.**

Это один из ключевых аргументов, который заставил типографов обратить пристальное внимание на контур слова. Возьмем слово «бомба»[[372]](#footnote-372). Нам труднее обнаружить ошибку в слове «бомва», чем в слове «бомра», где восходящая буква «б» заменена нисходящей «р». Хотя сам этот факт очевиден, его интерпретация не имеет ничего общего с глобальной формой слова. Все дело в путанице между отдельными буквами. В отличие от «р», буква «в» очень похожа на «б» в целевом слове «бомба». Эксперименты, позволяющие разграничить эти два фактора, доказывают, что к путанице между двумя буквенными цепочками приводит именно сходство букв, а не целых слов[[373]](#footnote-373).

Таким образом, нет никаких сомнений в том, что глобальные контуры слов практически не играют никакой роли в чтении. Мы распознаем печатное слово не путем целостного восприятия его контура, а потому, что наш мозг разбивает его на буквы и графемы. Область «буквенной кассы» в левой затылочно‑височной коре обрабатывает все буквы слова параллельно. Такая быстрая обработка, вероятно, объясняет, почему известные и уважаемые психологи некогда отстаивали теории глобального (синкретического) чтения. Сегодня мы знаем, что мгновенность чтения – это всего лишь иллюзия, порожденная автоматизмом стадий этого процесса, протекающих вне сферы нашего сознания.

### Неэффективность метода целых слов

Эксперименты подтверждают, что система целых слов не работает. В рамках некоторых из них ученые сравнивали два пути обучения новой системе письма: метод целых слов и фонетический подход. Одно из самых увлекательных исследований такого рода было проведено моим другом Брюсом Маккэндлиссом, профессором Института Саклера в Нью‑Йорке[[374]](#footnote-374). Брюс изобрел новый искусственный алфавит, слова на котором пишутся снизу вверх, а буквы соприкасаются друг с другом. В результате каждое слово напоминает непрерывный узор из линий. Вот четыре слова, записанные с помощью этого алфавита:



На первый взгляд эти узоры абсолютно не похожи на слова, состоящие из букв. Только присмотревшись, мы замечаем общую форму «t», которая повторяется в этом примере четыре раза. Маккэндлисс обучал своей системе письма две группы студентов: одна использовала метод целых слов, другая – аналитический подход. Первая группа запоминала общий вид слов и не знала о присутствии букв. Студентам из второй (аналитической) группы сообщили, что слова состоят из последовательности букв, записанных снизу вверх. После этого все ученики прошли одинаковый тест, который заключался в многократном предъявлении конкретной формы и соответствующего английского слова.

Незначительное различие в инструкциях привело к впечатляющему каскадирующему эффекту. Спустя один день занятий первая группа распознавала список из 30 слов *лучше*, чем вторая, которая могла обнаружить буквы лишь с большим трудом. Этот интересный результат согласуется с одним из основных аргументов в пользу метода целых слов – якобы этот подход дает детям преимущество. Однако это верно только в самом начале, для первых 30 слов (или около того). Усвоение звуко‑буквенных соответствий требует больших первоначальных усилий, но оправдывает себя в долгосрочной перспективе. И действительно, на второй день, когда студентам выдали новый список из 30 слов, первая группа начала сдавать позиции. Они выучили большую часть новых слов, но сделали это за счет первого списка, который они быстро забыли. То же самое повторялось всякий раз, когда исследователи предлагали новый перечень: получив неизвестные слова, студенты из первой группы были вынуждены все начинать с нуля и забывали то немногое, что усвоили ранее. В этом нет ничего удивительного. Они пытались сделать фактически невозможное – заучить каждое слово отдельно, как китайский иероглиф.

Студенты, которые обращали внимание на буквы, напротив, демонстрировали медленный, но стабильный прогресс. С каждым днем процент правильных ответов повышался. Они не только относительно хорошо расшифровывали слова, встречавшиеся им впервые, но и отлично справлялись с теми, которые видели раньше, но давно не повторяли. Этот результат не настолько загадочен, как может показаться. Знание звуко‑буквенных соответствий позволяло студентам расшифровывать любое слово, даже если они не помнили, что встречались с ним раньше.

Эксперимент Маккэндлисса подчеркивает две основные проблемы метода целых слов. Во‑первых, простое предъявление письменных слов, без какого‑либо специального обучения буквам и звукам, недостаточно для систематического и быстрого освоения правил орфографии. Даже увидев тысячу слов, неосведомленный взрослый может не заметить, что они состоят из обычных букв[[375]](#footnote-375).

Во‑вторых, несмотря на то, что обобщение играет существенную роль в овладении чтением у детей, метод целых слов не обеспечивает надлежащего фундамента для применения приобретенных знаний на новые слова. Даже самый самоотверженный педагог не может обучить своих учеников всем словам в родном языке! Умение читать заключается прежде всего в способности расшифровывать новые слова. Самообучение[[376]](#footnote-376) – важнейший фактор на пути к самостоятельному чтению. Овладев звуко‑буквенными соответствиями, дети могут свободно расшифровывать произношение новых буквенных цепочек и связывать их со знакомыми значениями. При этом нейронные связи, ведущие от слов к звуку и смыслу, постепенно автоматизируются без какого‑либо дальнейшего формального обучения.

Последнее особенно важно, так как опровергает одно из центральных убеждений системы целых слов – мысль о том, что только этот метод гарантирует независимость и счастье ребенка. На самом деле подлинную свободу дарует как раз обучение преобразованию букв в звуки – только этот подход позволяет детям читать новые слова, относящиеся к любой интересующей их области. По этой причине противопоставлять интеллектуальную свободу зубрежке и однотипным упражнениям едва ли корректно. Чтобы научить ребенка читать быстро и хорошо, необходимо структурированное обучение графемно‑фонемным соответствиям. Хотя это требует усилий, результат не заставит себя ждать: пожертвовав независимостью на начальном этапе, дети мгновенно обретут ее вновь, как только обнаружат, что могут расшифровать слова, которые никогда не учили в школе.

Я вовсе не хочу, чтобы у читателя сложилось впечатление, будто отказ от метода целых слов основан исключительно на лабораторных экспериментах или теоретических принципах. Его эффективность была опровергнута и на практике. Дисциплина, изучающая психологию чтения, воспользовалась разнообразием существующих методов обучения и измерила воздействие на детей каждого из них. Это направление исследований, граничащее с эпидемиологией, предполагает анализ результатов по разным стандартизированным тестам не только на основании используемого метода обучения, но и возраста детей, социально‑экономического статуса, а также ряда других переменных.

Результаты этих исследований подтверждают вывод, справедливый как для американских детей, так и для тех, кто изучает другие алфавитные системы письма[[377]](#footnote-377). **Метод целых слов систематически менее эффективен, чем фонетический подход. Наилучшие результаты показывают дети, которых с самого начала обучают звуко‑буквенным соответствиям.** Вне зависимости от социального происхождения, всем детям, которых не учат буквам и графемам, присущи задержки в овладении навыком чтения. Они часто далеко не ничтожны и сохраняются в течение многих лет.

Что бы ни утверждали сторонники метода целых слов, тесты показывают, что детям, обучаемым с использованием этого подхода, хуже дается не только чтение новых слов, но и понимание предложений и текста. Большинство из них набирают баллы ниже среднего уровня для их возраста. Это наблюдение опровергает мысль о том, что фоника превращает детей в роботов, неспособных воспринимать смысл. На самом деле декодирование и понимание идут рука об руку. Дети, показывающие наилучшие результаты в расшифровке отдельных слов и псевдослов, показывают успехи и в понимании целых предложений.

Сторонники метода целых слов, по всей видимости, путают средства и цель. Они правы в том, что декодирование – это инструмент, а не самоцель. В этом отношении можно только похвалить многочисленные руководства по чтению, которые уже на ранних стадиях предлагают содержательные короткие рассказы вместо бессмысленных слогов, таких как «па», «та», «ка». Однако понимание невозможно без беглого декодирования. Чем быстрее автоматизируется маршрут, ведущий от букв к звуку, тем легче будет ребенку сосредоточиться на смысле.

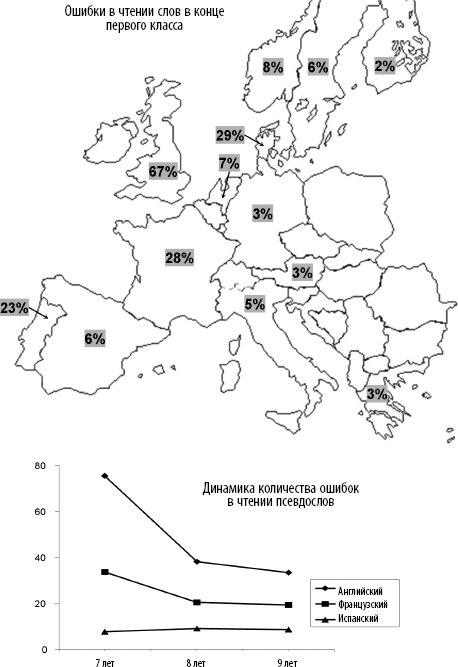
### Некоторые рекомендации для педагогов

Итак, что же психология и нейронаука могут посоветовать учителям и родителям, стремящимся оптимизировать обучение чтению? Развивающаяся наука о чтении не имеет готовых формул, но может дать несколько рекомендаций. Их суть проста: мы знаем, что преобразование букв в звуки является ключевым этапом в формировании навыка чтения. По этой причине все усилия должны быть изначально сосредоточены на одной‑единственной цели – усвоить алфавитный принцип, согласно которому каждая буква или графема обозначает фонему.

Подготовить дошкольников к обучению чтению помогут простые игры. Фонологический уровень развивают игры со словами и составляющими их звуками (слогами, рифмами и фонемами), а зрительный уровень – распознавание и прослеживание контуров букв. Особенно полезен в этом отношении метод Монтессори, который заключается в ощупывании шершавых букв, вырезанных из наждачной бумаги. Он помогает детям запомнить ориентацию каждой буквы и ясно дает понять, что «b», «p», «d» и «q» – это разные буквы.

После этой подготовительной стадии детей необходимо обучить соответствию букв и фонем. Поскольку мозг ребенка не извлекает их автоматически, педагог обязан четко разъяснить, что каждый речевой звук может быть представлен разными буквами, а каждая буква может обозначать разные речевые звуки. Учитывая, что английская орфография изобилует иррегулярностями и исключениями, графемы следует вводить в логическом порядке. В первую очередь ребенок должен освоить простейшие и наиболее частые графемы, которые почти всегда произносятся одинаково: «t», «k» и «a». Графемы, которые встречаются реже («b», «m», «f»), читаются по‑разному («i», «o») или состоят из нескольких букв («un», «ch», «ough»), стоит вводить постепенно. Существует множество способов привлечь внимание детей к присутствию этих элементов в знакомых словах. Например, можно присвоить каждой графеме свой особый цвет или составлять новые слова, меняя буквы местами. Также нужно объяснить, что буквы следуют друг за другом в фиксированном порядке, слева направо, без пробелов. Умение замечать различные субкомпоненты слов настолько важно, что этому необходимо учить специально. Например, это можно сделать с помощью скользящего окошка, которое открывает всего несколько букв зараз.

Конечно, усвоение механики чтения не есть самоцель, ведь этот процесс имеет смысл только в том случае, если ведет к значению. Дети должны знать, что чтение – это не просто бормотание слогов – оно требует понимания того, что написано. Каждое занятие должно заканчиваться чтением слов или предложений, которые ребенок может понять, повторить, изложить своими словами или перефразировать.



**Рис. 5.3.** Формирование навыка чтения происходит неодинаково у носителей разных европейских языков. В рамках приведенного выше исследования ученые сравнили количество ошибок при чтении знакомых слов, которые в конце первого года обучения в школе допускали дети из 15 европейских стран (вверху, по материалам статьи Seymour, Aro, & Erskine, 2003, таблица 5). Носители языков с прозрачной орфографией – финны, немцы, греки, австрийцы и итальянцы – в основном читали правильно. На другом конце шкалы оказался английский язык: британские дети могли прочесть всего одно слово из трех. Эти расхождения сохранялись несколько лет, особенно в отношении псевдослов, таких как «balist» или «chifling», которые могут быть расшифрованы только с помощью графемно‑фонемного декодирования (внизу, по материалам статьи Goswami et al., 1998, таблица 8). Требуется один или два дополнительных года обучения, прежде чем английский ребенок достигнет уровня французского.

Хотя многие учителя, безусловно, сочтут мои рекомендации очевидными, их уточнение не будет лишним. Однажды я тестировал компьютерную программу для обучения чтению, якобы «отмеченную многими наградами». Первым словом, предлагаемым начинающему читателю, было французское слово «oignon», которое читается совсем не так, как пишется! Такие нелепые ошибки ясно показывают, что даже самые базовые принципы обучения пока понимают не все специалисты.

Также важно подчеркнуть, что родители и учителя *не* должны делать. Прослеживать общие контуры слов бесполезно. Не помогает и акцент на восходящих и нисходящих буквенных моделях. На самом деле подобные упражнения дают отрицательный эффект: они вводят детей в заблуждение, заставляя их обращать внимание на общий контур слов. В результате ребенок приходит к выводу, что слова можно угадывать, не рассматривая составляющие их буквы одну за другой. Очертания слов «eight» («восемь») и «sight» («зрение») почти идентичны. Дети должны понимать, что только буквенный анализ позволит им расшифровывать слова.

Лично я с большим подозрением отношусь к щедро иллюстрированным пособиям по чтению, которые содержат больше картинок, чем текста. Изображения отвлекают внимание от уровня букв. Развешивание в классе плакатов, на которых напечатаны слова, тоже не лучшая стратегия. Некоторые дети просто запоминают положение каждого слова и общий план страницы и больше не обращают внимания на буквы. Как следствие, у учителей и родителей – а главное, у самого ребенка – может возникнуть иллюзия, будто он умеет читать. Кроме того, иллюстрации отвлекают от текста. Современные дети живут в мире постоянной сверхстимуляции и дистракции, из‑за чего некоторые из них не умеют удерживать внимание в течение длительного периода времени. В таких случаях могут помочь тексты, которые учитель пишет на доске во время урока. Также стоит напомнить ребенку о том, что, хотя чтение – тяжелый труд, оно позволяет расшифровывать и понимать любой текст, а это само по себе является наградой.

При обучении чтению ни в коем случае нельзя торопиться. На каждом этапе слова и предложения должны включать только те графемы и фонемы, которые уже были усвоены ранее. Уроки чтения оставляют мало места для импровизации. Учитель не может предложить детям неподготовленные слова или предложения, которые он выбрал в последнюю минуту. Бессистемность такого рода, скорее всего, потребует от ребенка продвинутых знаний, которыми он пока не обладает.

Взрослые недооценивают, насколько трудно читать на самом деле. Любое слово, предлагаемое для обучения, необходимо тщательно проанализировать. Это позволит убедиться, что оно не содержит орфографических тонкостей, выходящих за пределы текущих знаний ребенка. Под этим я имею в виду иррегулярное произношение, непроизносимые буквы, двойные согласные или характерные окончания, такие как суффикс – tion. Все эти особенности, если они вводятся слишком рано, могут убедить детей в том, что чтение носит произвольный характер, а потому не стоит усилий. Будучи ученым и преподавателем, я ожидаю, что учителя и воспитатели, которым я доверяю своих детей, будут вкладывать столько же труда в подготовку уроков, сколько я и мои коллеги вкладываем в разработку психологических экспериментов.

Наконец, родители детей, которым чтение дается нелегко, не должны впадать в уныние. Во‑первых, трудности с чтением варьируются в разных странах и культурах, а во‑вторых, английский язык отличается, вероятно, самой сложной из всех алфавитных систем письма. Его система правописания, безусловно, очень непрозрачная – каждую отдельную букву можно произнести множеством разных способов, да и исключений предостаточно. Сравнение, проведенное на международном уровне, показывает, что подобные иррегулярности оказывают сильное влияние на процесс научения[[378]](#footnote-378). Итальянские дети могут прочесть практически любое слово уже через несколько месяцев обучения в школе, так как орфография этого языка правильная. Никаких диктантов и орфографических упражнений не нужно: как только дети научатся произносить графемы, они смогут прочесть и записать любой речевой звук. И наоборот, французским, датским, а особенно британским и американским детям требуются годы, прежде чем у них выработается эффективный механизм чтения. В девять лет французский ребенок читает хуже семилетнего немецкого. Британские дети достигают уровня своих французских ровесников спустя два года дополнительного обучения (рис. 5.3).

**За исключением радикальной реформы правописания, мы мало что можем сделать для упрощения приобретения навыка чтения на английском языке.** Все, что нам остается, – это стимулировать детей к ежедневным тренировкам… и напоминать себе, что ситуация могла быть гораздо хуже. В Китае, например, уроки чтения продолжаются и в подростковом возрасте – все ради того, чтобы заучить несколько тысяч символов, необходимых для прочтения газеты. Тяжелое положение китайских детей тем более удивительно, что его можно избежать: в настоящее время многие из них начинают с изучения простой алфавитной системы пиньинь, которая усваивается в течение нескольких месяцев[[379]](#footnote-379).

Учителя могут найти некоторое утешение в том, что время, потраченное на овладение навыком чтения, оказывает необычайно сильное и полезное воздействие на мозг ребенка. Только представьте непрекращающуюся активность новых связей, возникающих в мозге юного читателя после каждого урока. Область «буквенной кассы» интегрирует иерархию нейронов, кодирующих буквы, биграммы, графемы и морфемы. Эта работа создает мощное нейронное бурление во всей системе чтения. Сотни миллионов нейронных отростков должны найти свои цели в других областях, кодирующих звуки и смысл речи. Нравится нам это или нет, но такая нейронная иерархия гораздо сложнее для английского и французского языков, чем для прозрачного итальянского. Объем нейронного рециклинга, необходимого для английского языка, настолько велик, что мы вынуждены учить детей каждой из его бесчисленных орфографических ловушек. Это необходимо делать даже спустя годы после окончания начальной школы.

Я твердо убежден, что каждый учитель должен иметь некоторое представление о том, как именно происходит процесс чтения в мозге ребенка. Те, кто занимался отладкой компьютерных программ или ремонтом стиральных машин (как я), знают: главная трудность состоит в том, чтобы разобраться, что конкретно делает машина для выполнения своей функции. Сначала нужно представить себе состояние, в котором она «зависла». Это позволит понять, как она воспринимает поступающие сигналы, и определить, какие манипуляции вернут ее в рабочее состояние.

В некотором роде детский мозг тоже машина – удивительное устройство, одной из главных функций которого является обучение. Каждый день, проведенный в школе, модифицирует невообразимое количество синапсов. Нейронные предпочтения меняются, закладываются новые процедуры, новые сети начинают взаимодействовать друг с другом. Лично я убежден: если учителя, подобно специалистам по ремонту, смогут понять все внутренние трансформации, это существенно облегчит поиск новых и более эффективных педагогических стратегий. Хотя педагогика никогда не будет точной наукой, некоторые способы снабжения мозга письменными словами эффективнее других. В сущности, каждый хороший учитель обязан не только преподавать, но и быть внимательным и скрупулезным экспериментатором. Только так он сможет выявить наилучшие стратегии стимуляции, способные обеспечить оптимальное ежедневное обогащение мозга своих учеников.

## 6

## Дислексический мозг

Некоторые умные и всесторонне развитые дети сталкиваются со значительными трудностями в овладении навыком чтения. Эта патология получила название дислексии. В большинстве случаев она связана с нарушением способности обрабатывать фонемы. В настоящее время прослежена практически вся причинная цепочка, ведущая от генов к дислексическому поведению. Мозгу таких детей присущ ряд характерных аномалий. В частности, анатомия височной доли дезорганизована, ее типичная связность нарушена, а активность некоторых областей мозга при чтении заметно снижена. Предполагается, что это расстройство имеет сильный генетический компонент. На сегодняшний день идентифицированы четыре гена предрасположенности, причем большинство из них контролируют нейрональную миграцию – один из важнейших этапов формирования мозга в период внутриутробного развития. Любой сбой в этом процессе может привести к дезорганизации слоев коры.

Означают ли эти биологические аномалии, что дислексию нельзя вылечить? Вовсе нет – новейшие стратегии коррекционно‑развивающего вмешательства вселяют большую надежду. Основанные на интенсивном компьютеризированном обучении, эти методики повышают скорость чтения и приводят к частичной нормализации мозговой активности у детей с дислексией.

Миссис Эверетт достала книгу «Чтение без слез». В моем случае название, конечно, не оправдало себя… В целом школа порядочно расхолодила меня… Не очень приятно чувствовать себя безнадежно отставшим в самом начале забега.

УИНСТОН ЧЕРЧИЛЛЬ, «МОИ РАННИЕ ГОДЫ»[[380]](#footnote-380)

Все школьные учителя, независимо от таланта и преданности своему делу, время от времени сталкиваются с детьми, которые никак не могут научиться читать. Что касается математики или творчества, их интеллект не только соответствует норме, но и часто оказывается выше среднего. Однако когда дело доходит до чтения, такие ученики просто безнадежны: они запинаются на каждом слоге, путают звуки речи, бездумно угадывают слова, быстро приходят в уныние… и приводят в смятение всех окружающих. Визит к логопеду нередко подтверждает страшный диагноз: дислексия.

Какие же церебральные механизмы скрываются за этим термином? Может ли наше научное понимание чтения пролить свет на эту патологию? Дислексия – это следствие «ментального блока» (чем бы он ни был) или подлинного нарушения работы мозга? Какие области, нейроны, гены задействованы при этом? Какую терапию можно рекомендовать?

В этой главе мы подведем итог 30‑летнему изучению дислексии, начиная от ее первоначальной психологической классификации и заканчивая последними исследованиями в сфере нейровизуализации, анатомии и генетики, а также новейшими компьютерными программами для коррекционной работы. В последнее время появилась надежда частично излечить это распространенное нарушение. Можно утверждать, что сейчас в нейронауке вершится настоящая революция: не проходит и месяца без новых открытий. Они касаются как факторов риска развития дислексии и их генетических основ, так и соответствующих хромосом, генов и биологических механизмов, которыми они управляют. Все эти исследования ежедневно вносят свой вклад в наши знания о генетических и нейрональных механизмах дислексии.

### Что такое дислексия

Дислексия предполагает серьезные трудности при обучении чтению, которые нельзя объяснить умственной отсталостью, сенсорным дефицитом или неблагоприятным семейным анамнезом. Согласно этому определению, не все дети, которым чтение дается нелегко, страдают дислексией. Источниками проблем могут быть нарушения слуха, низкий IQ, бедная образовательная среда или просто сложность орфографических правил. Только когда все возможные причины исключены, можно подозревать дислексию.

Как показывают последние данные, в США дислексией страдают от 5 до 17 % детей[[381]](#footnote-381). Хотя эти цифры кажутся высокими, они зависят от порога, используемого для диагностики нарушения, и поэтому относительно произвольны. В пределах одной возрастной группы результаты стандартных тестов по чтению образуют идеальную колоколообразную кривую[[382]](#footnote-382). Если бы она имела два пика – один для нормы, а другой для патологии, – определить численность детей с дислексией на основе достаточно объективных критериев не составило бы труда. Однако у колоколообразной кривой есть только один пик, а потому четкая граница между здоровыми детьми и дислексиками отсутствует. Распространенность этого заболевания зависит от произвольного критерия «нормальности». В нашем грамотном обществе считается, что дети, набравшие минимальное количество баллов по тестам на чтение (5–10 %), находятся в группе риска, хотя лет 200 назад их проблему, вероятно, никто бы даже не заметил, ведь в то время читать умели далеко не все.

Относительно произвольный выбор пороговой точки может привести к ошибочному заключению, будто дислексия – это сугубо социальная конструкция, связанная с гипермедикализацией и тенденцией путать нарушения поведения с истинными заболеваниями. К сожалению, это не так. Целый ряд признаков указывает на неврологическое происхождение дислексии. Еще в 1950‑е годы ученые отметили, что дислексия поражает сразу нескольких членов семьи. На основании этих наблюдений специалисты по генетике поведения провели масштабные исследования с участием сотен семей. Наиболее значимый вклад в изучение проблемы, безусловно, внес Джон Дифрайз и его коллеги из Колорадского университета. Полученные результаты подтверждают **генетическую наследуемость способностей к чтению**. У однояйцевых близнецов, обладающих практически одинаковым генетическим материалом, корреляция результатов тестов по чтению гораздо выше, чем у разнояйцевых близнецов одного пола, у которых совпадает только половина генов. **Если дислексией страдает один ребенок в семье, вероятность развития этого заболевания у его братьев и сестер составляет 50 %.**

Хотя сейчас ученые полагают, что дислексия имеет генетическую природу, это явно не моногенное заболевание, обусловленное мутацией одного гена. На способность к овладению чтением влияют также определенные факторы риска. Неудивительно, что за подобные культурные способности отвечает огромное количество генов. Умение читать зависит от особой комбинации мозговых связей, которые, к счастью, уже существуют в мозге приматов, но требуют многолетней тренировки, чтобы приспособиться к новой функции. Малейшего сбоя в этой системе достаточно, чтобы хрупкий процесс нейронного рециклинга остановился.

### Фонологические трудности

Несмотря на многочисленные исследования по этой теме, согласие на предмет относительно точной природы дислексии пока не достигнуто. Ряд результатов указывает на аномалию фонологической обработки звуков речи[[383]](#footnote-383). Кроме того, выделяют подкатегорию дислексиков с дефицитом пространственного внимания[[384]](#footnote-384).

Современное изучение дислексии началось в 1970‑х годах с психологических исследований этого заболевания как расстройства детского возраста. Хотя целью чтения является понимание предложений и целых текстов, основные симптомы дислексии вызваны вовсе не аномалиями на этом уровне. Дети, которых просили прочитать только одно слово, все равно допускали ошибки, а скорость чтения резко снижалась. Дефицит распознавания слов, разумеется, связан с серьезными трудностями в понимании предложений и текста. Следовательно, весь спектр дефектов у дислексиков, по‑видимому, объясняет нарушения на уровне обработки слова. Это простое наблюдение в конечном итоге привело к отказу от некоторых более сложных определений дислексии, которые связывали проблему с аномалиями в движениях глаз или неправильным использованием контекста предложения. Постепенно исследования дислексии сосредоточились на более глубинных механизмах обработки отдельных слов.

В начале XX века новаторы этой области – Морган, Хиншелвуд и Ортон – считали дислексию зрительной патологией, разновидностью врожденной словесной слепоты. Они полагали, что зрительная система дислексика путает буквы. Особенно часто это наблюдалось в случае зеркально симметричных букв, таких как «q» и «p» или «b» и «d». Даже сегодня многие неспециалисты продолжают рассматривать дислексию как форму визуальной «неуклюжести» – в следующей главе мы увидим, что для некоторых детей такое описание весьма справедливо. Однако современные исследования не поддерживают эту точку зрения. Сейчас внимание переключилось на ключевую роль фонологического декодирования. Для большинства детей с дислексией характерен особый дефицит, влияющий на преобразование письменных символов в звуки речи. По этой причине один из тестов, позволяющий отличить дислексиков от здоровых читателей, предполагает чтение бессмысленных псевдослов вроде «cochar» или «litmagon». Даже спустя годы тренировок некоторые дети с трудом читают такие буквенные цепочки – многим требуется более 30 миллисекунд на букву. Этот показатель сравним со скоростью чтения у взрослых с чистой алексией, вызванной повреждениями затылочно‑височной области, где расположена «буквенная касса»[[385]](#footnote-385).

Судя по всему, дислексия представляет собой дефицит чтения, который может быть сведен к проблеме декодирования отдельных слов, что, в свою очередь, связано с нарушением механизма преобразования графем в фонемы. Этот каскадный анализ можно продолжить. В настоящее время научное сообщество в целом согласно с тем, что нарушение преобразования букв в звуки, характерное при дислексии, проистекает из более фундаментального источника. Большинство детей с дислексией, по‑видимому, страдают дефицитом обработки фонем – элементарных составляющих произносимых слов. Эту идею в какой‑то степени можно назвать революционной: проблемы с чтением на самом деле могут быть обусловлены глубинными аномалиями в обработке устной речи.

Хотя на первый взгляд этот вывод едва ли заслуживает доверия, в его пользу свидетельствует множество данных. В отличие от нормальных детей, дислексики часто испытывают сложности с тестами на фонематическую осведомленность. В большинстве случаев нарушения наблюдаются в суждениях о рифме (например, рифмуются ли слова «won» и «one»?), в сегментации слов на составляющие их фонемы (например, разбиение слова «cat» на [k], [a] и [t]), а также в ментальной рекомбинации речевых звуков для формирования новых спунеризмов (например, превращение «crushing blow» в «blushing cow»)[[386]](#footnote-386)[[387]](#footnote-387).

Безусловно, некоторые из этих исследований ходят по кругу, поскольку с опытом фонематическая осведомленность, как известно, возрастает. Овладение алфавитным принципом (то есть пониманием того, что каждой букве или графеме соответствует определенная фонема) оказывает значительное влияние на нашу способность мысленно управлять фонемами. У неграмотных взрослых этот аспект развит недостаточно (см. главу 5). Фонематическая осведомленность – это область, где очень трудно отделить причины от следствий[[388]](#footnote-388). Дети плохо читают из‑за того, что испытывают сложности с обработкой фонем? Или же обработка фонем затруднительна потому, что они еще не научились читать? Замкнутый круг!

Есть только один способ избежать подобного логического тупика – отслеживать развитие навыка чтения в течение нескольких лет. Как показывают длительные исследования, фонологическая компетенция, измеренная в дошкольном возрасте, служит надежным показателем скорости чтения в будущем. Особенно интересное исследование на эту тему было недавно проведено в Финляндии[[389]](#footnote-389). Хейкки Лийтинен и его коллеги измеряли компетенцию детей с дислексией с самого рождения. Это настоящий подвиг, учитывая, что в таком раннем возрасте никто не может сказать, будут ли у ребенка проблемы с чтением или нет. Опросив несколько сотен беременных женщин, исследователи смогли оценить генетическую предрасположенность к дислексии. Таким образом, еще до рождения детей можно было разделить на две категории: группу риска и контрольную группу. В каждую попало примерно по 100 малышей.

После рождения детей тестировали каждые шесть месяцев. Когда им исполнилось семь лет – официальный возраст, с которого в Финляндии начинается обучение чтению, – стало очевидно, что некоторые дети из группы риска (но не все) действительно испытывали серьезные трудности. На этом этапе можно было вернуться к первым тестам и выявить признаки, которые уже на первом году жизни прогнозировали потенциальную дислексию. Особенно показательным оказался тест на фонематический слух. В финском языке различие между [ata] (с коротким согласным) и [atta] (с длинным согласным) позволяет дифференцировать такие разные слова, как «bog» и «dog» в английском языке. У детей из группы риска способность обнаруживать подобные контрасты была менее выражена уже в шестимесячном возрасте. Младенцы, рожденные от родителей‑дислексиков, могли отличить один звук от другого только при увеличенной длительности согласных. Другим признаком будущих трудностей с чтением оказались отклонения в паттерне активности левой височной области, отвечающей за речь.

Эти исследования свидетельствуют о прочной связи между ранними фонологическими способностями и той легкостью, с которой впоследствии ребенок овладеет чтением и письмом. По всей вероятности, для большинства детей с дислексией характерна неправильная репрезентация звуков речи. Сбой работы на этом уровне препятствует точной обработке произносимых слов и их последующему соотнесению со зрительными символами. У некоторых детей речевые нарушения настолько выражены, что специалисты ставят другой диагноз. Сегодня педиатры предпочитают говорить не о дислексии, а о дисфазии или специфических нарушениях речи. Как бы там ни было, дети, страдающие дефицитом обработки фонем, неизбежно будут иметь серьезные нарушения, связанные с чтением.

В связи с этим возникает следующий вопрос: речь идет только о дефицитах, влияющих на обработку речевых звуков, или же дислексикам свойственны более глубокие нарушения слухового восприятия? Некоторые исследования показывают, что многим дислексикам (но не всем) присущи обе аномалии, хотя какие‑либо окончательные выводы делать пока рано. Так, довольно часто наблюдаются дефекты категориального восприятия речи. Многие дети с трудом улавливают разницу между слогами [ба] и [па]. Несколько исследований показали, что этот дефицит распространяется и за пределы языка[[390]](#footnote-390). Кроме того, при дислексии возможно снижение таких способностей, как различение чистых тонов и обнаружение короткой шумовой паузы, а также ухудшение внимания к порядку быстрой слуховой последовательности. Некоторые специалисты обнаружили, что эти признаки тесно связаны со скоростью чтения. Определенные аномалии наблюдаются и в зрительном восприятии временного порядка. Наконец, ряд ученых сообщали о базовых зрительных дефицитах, например о нарушениях восприятия движения и контраста[[391]](#footnote-391).

Вкратце, диагноз дислексии буквально утопает в трясине сопряженных зрительных и слуховых нарушений. Проблема заключается в том, что они могут не играть в ней никакой причинной роли. Не исключено, что сенсорные дефициты просто сопутствуют дислексии, если базовая патология поражает сразу несколько областей мозга. Какие же дефициты являются случайными, а какие играют подлинно каузальную[[392]](#footnote-392) роль в нарушении процесса овладения чтением? Этот вопрос по‑прежнему остается без ответа.

Базовые нарушения в обработке звука кажутся фундаментальными, поскольку их исправление, как правило, улучшает чтение. Финские ученые разработали невербальную коррекционную технику, в рамках которой дети играют в простую компьютерную аудиовизуальную игру[[393]](#footnote-393). Услышав серию звуков, различающихся по высоте, длительности и интенсивности, они должны решить, какая зрительная форма лучше всего представляет каждый звук. Например, последовательность восходящих звуков может быть сопоставлена с рядом прямоугольников возрастающей высоты. После курса занятий (10 минут в день, два дня в неделю, семь недель) показатели распознавания слов в группе детей с нарушениями чтения значительно улучшились по сравнению с представителями контрольной группы, которые не проходили никакой специальной подготовки[[394]](#footnote-394). Эта инновационная методика чем‑то напоминает обучение нотному письму, когда детей учат сопоставлять последовательности нот и звуков. Хотя основательных исследований по этой теме не так много, **раннее обучение музыке, по всей видимости, оказывает положительное влияние на скорость чтения в будущем**[[395]](#footnote-395).

Несмотря на все эти достижения, до сих пор не решен вопрос о том, *все* ли дети с дислексией страдают фонологическими дефицитами, и могут ли те, в свою очередь, быть сведены к сенсорным дефицитам более низкого уровня[[396]](#footnote-396). Определенная доля сомнений обусловлена тем, что такая сложная и интегрированная деятельность, как чтение, неизбежно лежит на пересечении нескольких каузальных цепочек. В связи с этим было предложено множество других объяснений развития дислексии. Альтернативные гипотезы варьируются от нарушения автоматизации приобретенных навыков (компетенция, за которую отвечает мозжечок)[[397]](#footnote-397) до дезорганизации «магноклеточного» нейронного пути (передающего временну́ю, зрительную и слуховую информацию)[[398]](#footnote-398). Согласно этим теориям, основной дефицит при дислексии выходит далеко за рамки фонологической обработки. Нарушение чтения можно сравнить с деревом, за которым скрывается целый лес аномалий в моторной автоматизации и быстром восприятии.

Однако недавние открытия французского исследователя Франка Рамуса и его коллег не совпадают с подобным широким взглядом на дислексию. Согласно полученным ими данным, какова бы ни была конечная биологическая причина, в основе большинства случаев дислексии лежит базовое нарушение фонологической обработки. Разумеется, дети с дислексией могут страдать сопутствующими дефицитами моторных, зрительных или слуховых функций, но они наблюдаются не у всех больных, а значит, не дают единого объяснения симптомов этой патологии. По мнению Рамуса, только фонологический дефицит обеспечивает причинную связь с нарушениями чтения. Хотя дополнительные расстройства способствуют развитию дислексии как медицинского синдрома, они не относятся к причинному ядру, вызывающему трудности с чтением[[399]](#footnote-399). Рамус и его коллеги, однако, не отрицают, что у некоторых детей с дислексией (примерно у каждого четвертого) выраженный зрительный дефицит не сопровождается нарушениями фонологической обработки[[400]](#footnote-400). В следующей главе мы рассмотрим случаи, когда дислексия имеет явное зрительное происхождение.

В заключение мы, вероятно, должны поставить под сомнение саму идею существования единственной причины дислексии. Очевидно, эта патология носит комплексный характер и не может быть сведена к одному четко определенному фактору. Наша способность читать возникла на стыке природы и культуры лишь благодаря счастливому стечению обстоятельств. Обучение чтению основывается на уже существующих эффективных связях между зрительными и фонологическими процессорами. На мой взгляд, весьма вероятно, что дислексия возникает из‑за совокупности нарушений в зрительной и речевой системах. Самое слабое место, судя по всему, находится где‑то на пересечении между инвариантным визуальным распознаванием и фонематической обработкой. Нейровизуализационные исследования подтверждают: корень проблемы часто лежит на стыке между зрением и речью, внутри сети связей в левой височной доле.

### Биологическое единство дислексии

Является ли дислексия подлинно неврологическим заболеванием? Всего 10 лет назад подобный вопрос вызывал серьезные сомнения. Педиатры, сталкивавшиеся с нарушениями обучаемости, знали, что назначать стандартное МРТ‑обследование бесполезно: никаких видимых признаков аномалий в структуре мозга в таких случаях не наблюдалось. В результате скептики часто списывали дислексию на плохое обучение, недостаточную поддержку семьи или пробелы в системе образования.

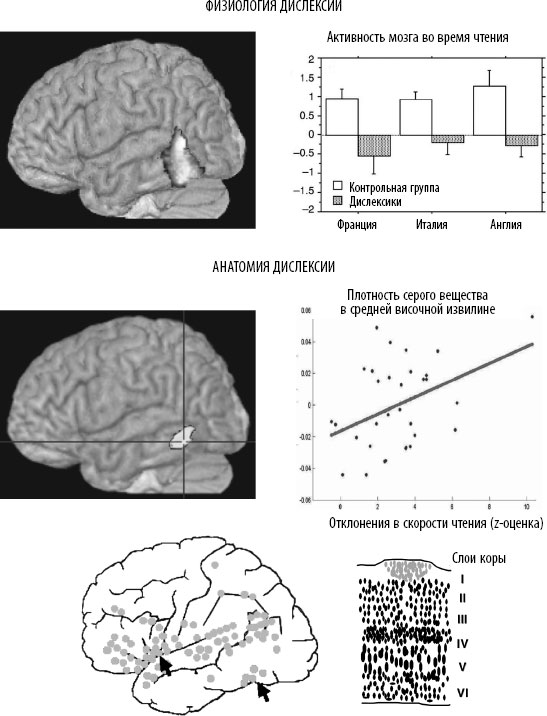
Все изменилось, когда исследования показали, что дислексия поражает целые семьи и ассоциируется с четкими генетическими маркерами. Это наблюдение подтолкнуло ученых к более серьезным поискам мозговых механизмов, связанных с этой патологией. За последние 10 лет, благодаря ряду методологических усовершенствований в сфере визуализации мозга, был обнаружен биологический фундамент дислексии. Мой друг Эральдо Паулесу, ученый из Миланского университета, в сотрудничестве с французскими и английскими коллегами провел одно из самых информативных на сегодняшний день нейровизуализационных исследований, которое внесло бесценный вклад в современный подход к дислексии[[401]](#footnote-401).

Миланская команда Паулесу начала с вопроса распространенности. Дело в том, что дислексия почти не встречается в Италии. Их французские коллеги тоже отметили, что во Франции она диагностируется реже, чем в Великобритании или Соединенных Штатах. На первый взгляд эти наблюдения ставили под сомнение универсальное биологическое происхождение синдрома. Итальянцы задавались вопросом, не является ли дислексия лишь культурным ярлыком, изобретенным англосаксонской медициной для детей, которым плохо преподавали сложную английскую или французскую орфографию?

Паулесу и его коллеги понимали, что к этой проблеме можно подойти с разных точек зрения, и сформулировали альтернативную теорию: во всех странах генетическая предрасположенность к дислексии присуща одинаковому проценту детей, но ее симптомы проявляются только в некоторых культурах. Возможно ли, что дислексия превратилась в полноценную педиатрическую проблему только в тех странах, где системы письма настолько непрозрачны, что подвергают серьезному стрессу мозговые цепи, связывающие зрение с речью?

Чтобы ответить на этот вопрос, Паулесу организовал активные поиски взрослых итальянцев, которые испытывали выраженные трудности при овладении чтением. Предложив стандартные тесты 1200 итальянским студентам, он отобрал 18 кандидатов. Эти молодые люди показали наихудшие результаты, а потому могли считаться истинными дислексиками. Однако на первый взгляд с ними все было в порядке. Их навыки чтения значительно превосходили способности английских и французских дислексиков. Они могли читать слова и псевдослова вслух, хотя и медленнее обычного. Однако, по сравнению с обычными взрослыми, скорость их чтения так же отклонялась от нормы, как у французских и английских дислексиков в сравнении с контрольными испытуемыми.

После того как были сформированы три группы итальянских, французских и английских дислексиков, остался только один вопрос: свойственны ли их мозгу определенные общие особенности, которые отличают их от обычных читателей? Паулесу и его коллеги визуализировали мозговую активность с помощью позитронно‑эмиссионной томографии. Во время сканирования испытуемые читали целевые слова, очень простые даже для дислексиков. В результате показатели были одинаковыми во всех группах. Контрольная задача заключалась в том, чтобы наблюдать за буквоподобными геометрическими фигурами.



**Рис. 6.1.** В мозге детей с дислексией наблюдаются анатомические и функциональные аномалии. В частности, при чтении заметно снижена активность нейронов в среднем и нижнем отделах левой височной доли (вверху; по материалам статьи Paulesu et al., 2001). Также характерно аномальное увеличение плотности серого вещества в левой средней височной извилине, связанное со скоростью чтения (в середине; по материалам статьи Silani et al, 2005). В тех редких случаях, когда было произведено вскрытие, Альберт Галабурда и его коллеги (1985) обнаружили многочисленные «эктопии» – дезорганизованные группы нейронов, мигрировавшие за пределы своих привычных слоев коры (внизу). Наибольшее количество таких аномалий было зафиксировано в зрительных и вербальных областях, необходимых для чтения. *Использовано с разрешения Science и Oxford University Press.*

Сравнение дислексиков с представителями соответствующих контрольных групп позволило выявить явную анатомическую аномалию – недостаточную активность целого сектора левой височной доли. Как ни странно, нейронная активность была снижена в одинаковой степени в одном и том же месте у представителей всех трех национальностей (рис. 6.1). Таким образом, результаты Паулесу указывают на универсальный мозговой механизм развития дислексии, по крайней мере у носителей языков с алфавитной системой письма. Он заключается в выраженной дезорганизации левой височной доли.

Недавнее исследование ставит под сомнение эти выводы. Как показывают данные МРТ, китайские дислексики страдают совершенно иной патологией[[402]](#footnote-402). У детей, испытывающих выраженные трудности при чтении китайских иероглифов, мозговая активность снижена в основном в среднем отделе левой лобной доли. Основываясь на полученных результатах, авторы исследования пришли к выводу, что мозговые сети для чтения и их патологии варьируются в разных культурах. Это утверждение, однако, не совсем верно: у китайских дислексиков снижение мозговой активности наблюдалось не только в левой лобной доле, но и в левой затылочно‑височной коре, в пределах всего восьми миллиметров от пика аномалии, характерного для итальянских, французских и английских дислексиков. Таким образом, это исследование не опровергает, а скорее подтверждает гипотезу об универсальном механизме чтения. По какой‑то причине авторы решили не акцентировать на этом внимание и предпочли подчеркнуть разницу в активности лобной доли. Но почему эта область отличается у китайских дислексиков? Аномальная зона расположена в непосредственной близости от зоны Экснера, поражение которой у носителей английского языка приводит к аграфии – неспособности разборчиво писать буквы и слова. По‑видимому, самое трудное для человека, изучающего китайские иероглифы, – это запомнить все 3000 знаков. Чтобы хоть как‑то облегчить себе задачу, китайские дети могут частично полагаться на моторную память. Моя гипотеза заключается в том, что раннее повреждение зоны Экснера может вызывать ухудшение памяти на движения, связанные с письмом, и в результате приводить к выраженным трудностям с чтением.

Таким образом, несмотря на то, что во всех культурах чтение опирается на схожие анатомические пути, чувствительность к патологиям мозга может быть разной. Фонологические нарушения преобладают у дислексиков, которых обучают алфавитной системе письма, в то время как «графомоторная» дислексия чаще встречается у носителей азиатских языков, хотя оба подтипа существуют во всех странах[[403]](#footnote-403).

### Главный подозреваемый: левая височная доля

Левая височная доля пока остается главным подозреваемым в наших поисках биологических истоков дислексии. Практически все нейровизуализационные исследования показывают снижение нейронной активности в этой области при заболевании[[404]](#footnote-404). В первичном исследовании Паулесу ухудшение функционирования височной доли было зафиксировано у взрослых, страдавших пожизненной неспособностью к овладению чтением. Аналогичное явление можно наблюдать у маленьких детей с дислексией в возрасте от 8–12 лет. Примечательно, что в этот период степень дисфункции мозга четко коррелирует с тяжестью дефицита чтения. Благодаря современным технологиям визуализации, **измерение активности в области «буквенной кассы» позволяет прогнозировать степень нарушения способности к чтению у ребенка**[[405]](#footnote-405).

При дислексии часто встречается и другая аномалия. В большинстве случаев чтение или выполнение фонологических задач сопровождается *гипер*активностью нижнего отдела левой лобной доли, в котором находится зона Брока, отвечающая за синтаксис и артикуляцию[[406]](#footnote-406). Это наблюдение можно рассматривать как компенсаторную стратегию. Чтобы восполнить недостаток активности задних областей, участвующих в автоматическом декодировании, дислексики, вероятно, прибегают к прямым стратегиям речепроизводства, задействующим лобную долю.

На снимках Паулесу видно, что в дислексическом мозге недостаточно активны две близлежащие зоны (рис. 6.1): левая латеральная височная кора и участок, расположенный прямо под ней. Последний в точности совпадает с областью «буквенной кассы». Некоторые исследователи полагают, что первая зона играет причинную роль при дислексии, тогда как вторая плохо функционирует из‑за сниженной активности первой. И действительно, одной из функций, связанных с латеральной височной корой, является обработка фонологической информации в речи (см., например, рис. 2.19). Допустив, что эта область была дезорганизована при рождении, мы можем предложить простой каскадный сценарий развития дислексии. Раннее повреждение сетей, отвечающих за обработку речи, объясняет, почему при дислексии фонологические нарушения проявляются еще до начала обучения чтению. Трудности в формировании фонематической осведомленности затрудняют усвоение алфавитного принципа. Эти проблемы приводят к тому, что «буквенная касса» не может приобрести зрительный опыт, необходимый для обработки письменных слов. Таким образом, снижение активности в этой области носит вторичный характер.

Этот сценарий, каким бы правдоподобным он ни казался, достаточно спорный. Не исключено, что у некоторых детей повреждена сама затылочно‑височная кора, будущее место «буквенной кассы». Функциональная МРТ наводит на мысль, что у дислексиков эта область не работает должным образом[[407]](#footnote-407). В эксперименте Эймона Маккрори и его коллег испытуемые читали написанные слова вслух и называли линейные рисунки. Левая затылочно‑височная область была единственной частью мозга, которая у дислексиков активировалась слабее, чем у нормальных взрослых, причем в ответ как на слова, так и на картинки. Проще говоря, налицо были все признаки выраженной дисфункции.

Пока мы не знаем, является ли это следствием или же причиной дислексии. У опытных читателей развиваются детекторы для Т‑, L‑ и Y‑образных пересечений, а поскольку эти формы часто встречаются в линейных рисунках, вполне возможно, что они повышают корковую чувствительность как к изображениям, так и к словам. Авторы исследования склоняются к более простому объяснению. Они утверждают, что участок коры, который у обычных людей становится «буквенной кассой», у многих дислексиков дезорганизован с самого раннего возраста. По всей вероятности, его повреждение играет каузальную роль в дефиците чтения. Это место участвует в связывании зрительных форм с речевыми звуками и значениями, поэтому его повреждение может оказывать сильное влияние на умение читать. Поскольку обработка изображений лучше распределена по поверхности коры, чем распознавание буквенных цепочек, эта аномалия практически не сказывается на распознавании изображений и их назывании.

Сценарий двойного дефицита – зрительного и фонологического – подтверждается данными о временной последовательности активации мозга у дислексиков. Магнитоэнцефалография, измеряющая динамику церебральной активности на поверхности коры, позволила выявить две последовательные аномалии в каскаде процессов, ведущих к распознаванию слов:

• Первичная обработка образа протекает нормально (первые 100 миллисекунд), однако уже через долю секунды наблюдается явное отклонение. При дислексии не регистрируется сильный сигнал в левой затылочно‑височной области, который обычно возникает через 150–200 миллисекунд и свидетельствует о доступе к «буквенной кассе» и инвариантном зрительном распознавании буквенных цепочек[[408]](#footnote-408). По всей вероятности, левая затылочно‑височная область дислексиков не способна одновременно идентифицировать все буквы, составляющие слово, что объясняет зависимость скорости чтения от количества букв. Если у здоровых испытуемых эффект длины слова быстро исчезает, то у дислексиков он сохраняется в течение всей жизни[[409]](#footnote-409).

• Во время второй стадии, наступающей примерно через 200 миллисекунд, у здоровых испытуемых регистрируется выраженная активность в левой латеральной височной коре. Для дислексиков характерна слабая латерализация активации в левое полушарие. Более того, интенсивность работы правой височно‑теменной области значительно превышает норму[[410]](#footnote-410). Эта аномалия отражает отсутствие быстрого доступа к фонологии слов, а также компенсаторную зависимость от правополушарных путей. Ни то ни другое у здоровых испытуемых обычно не наблюдается.

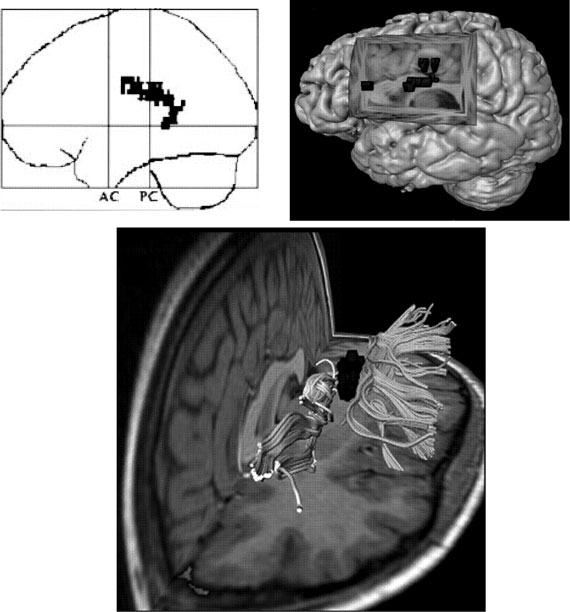
Итак, методы визуализации позволили выявить ряд маркеров дислексического мозга. При этой патологии сразу несколько ключевых областей недостаточно активны как на стадии зрительного анализа, так и на этапе фонологического декодирования.

### Нейрональная миграция

То, что мы наблюдаем сниженную активность в дислексическом мозге, вовсе не означает, что мы понимаем ее причины. Почему у детей с дислексией височная доля активируется недостаточно? Повреждены ли сами нейроны или дело в их аномальных связях? Может быть, источник дефицита кроется в макроскопической организации основных проводящих путей? Или проблема в молекулах, которые образуют мембраны нейронов и синапсов? На самом деле во всех этих гипотезах есть доля истины[[411]](#footnote-411).

Начнем с макроскопического уровня. При дислексии базовая структура коры и ее связей явно дезорганизована. Если раньше анатомические МРТ дислексического мозга считались нормальными, то сегодня точные статистические методы позволяют обнаруживать менее очевидные отклонения. Один из методов, так называемая воксельная морфометрия, заключается в количественном измерении серого вещества – слоя, содержащего клеточные тела нейронов. С помощью МРТ можно приблизительно оценить толщину и складки коры в любой точке. Просканировав итальянских, французских и английских дислексиков, Эральдо Паулесу и его коллеги обнаружили масштабную дезорганизацию в левой височной области. Точки, где были выявлены аномалии, совпадали с зонами сниженной нейронной активности (рис. 6.1). Было зафиксировано два типа нарушений: в одних местах серое вещество было разреженным, а в других – аномально плотным. Но самым важным открытием было то, что в левой средней височной извилине дислексиков оказалось *больше* серого вещества, чем у обычных людей. Проанализировав индивидуальные данные, ученые установили, что степень этой аномалии точно предсказывала тяжесть дефицита чтения[[412]](#footnote-412).

Почему избыток серого вещества – это плохо? Хотя магнитно‑резонансная томография недостаточно точна, чтобы выявить лежащие в основе биологические механизмы, некоторый свет на этот вопрос пролили патологоанатомические исследования взрослых людей с дислексией. В 1979 году американский невролог Альберт Галабурда из Гарвардской медицинской школы подробно изучил мозг 20‑летнего дислексика, а также нескольких других пациентов[[413]](#footnote-413). Он обнаружил, что их кора содержала многочисленные эктопии. Эктопия – научный термин греческого происхождения, означающий неправильное расположение нейронов. Во время внутриутробного развития плода нейроны преодолевают значительные расстояния, передвигаясь из герминальной зоны вокруг желудочков, где они формируются путем деления клеток, к своим окончательным местам в разных слоях коры. Деление и миграция нейронов – важнейший этап нормального развития мозга. Именно в это время мозг плода наиболее чувствителен к таким патогенам, как алкоголь. У многих дислексиков нейрональная миграция, похоже, пошла некорректно. При вскрытии Галабурда обнаружил беспорядочные скопления нейронов на поверхности коры. Складывалось впечатление, будто они сбились с пути и столкнулись друг с другом. В одних местах шесть слоев клеток были неправильной формы («дисплазия»), а в других они образовывали маленькие складки («микроизвилины»). И то и другое свидетельствовало о том, что нейроны так и не добрались до пункта назначения. Наконец, некоторые борозды утратили свою нормальную асимметрию – особенность, предположительно играющая важную роль в речевой специализации левого полушария.



**Рис. 6.2.** При дислексии характерны аномалии в связях, соединяющих дальние участки коры. Несколько независимых исследований выявили дезорганизацию пучков волокон, расположенных в глубине левой затылочно‑височной области (слева: Klingberg et al., 2000; справа и снизу: Beaulieu et al., 2005). *Используется с разрешения Neuron и Neuroimage.*

Галабурда утверждает, что аномалии в нейронной миграции часто встречаются при дислексии. Неравномерное распределение клеток – слишком много нейронов здесь, слишком мало там – может объяснять макроскопическую мозаику повышенной или пониженной плотности серого вещества, обнаруженную Паулесу и его коллегами на анатомических МРТ. По неизвестным причинам «сбившиеся с пути» нейроны скапливаются вокруг речевых центров, а также левой затылочно‑височной области – «буквенной кассы», играющей столь важную роль в зрительном распознавании слов (рис. 6.1). В результате области, усыпанные заблудившимися нейронами, не могут функционировать нормально и вызывают трудноуловимые фонологические и зрительные нарушения, связанные с полномасштабной дислексией.

Конечно же, дезорганизация базового расположения корковых нейронов должна повлиять и на их связи. Именно это и показала МРТ. Все исследования корковой согласованности, проведенные в разных лабораториях с использованием различных методов визуализации, указывают на масштабные отклонения, касающиеся прежде всего пучков волокон, расположенных под затылочно‑височной областью левого полушария (рис. 6.2)[[414]](#footnote-414). Степень дезорганизации корковых связей в этом месте служит надежным показателем скорости чтения не только у дислексиков, но и у здоровых людей. К сожалению, ограниченное пространственное разрешение не позволяет нам точно определить области коры, которые связаны этими дефектными пучками. Тем не менее тот факт, что они находятся непосредственно под низкоактивными височными областями, подтверждает гипотезу о том, что **у дислексиков левая височная область частично отключена от остального мозга**. Неспособность передать лингвистическую информацию другим отделам, особенно левой нижней лобной области, приводит к серьезным перебоям в потоке информации[[415]](#footnote-415).

### Дислексия у мышей

Следующим логичным шагом было бы изучить мелкоструктурную организацию нейронов левой височной доли под микроскопом или записать их активность с помощью микроэлектродов. Однако инвазивные[[416]](#footnote-416) исследования такого рода практически невозможно провести на людях. Чтобы обойти это препятствие, Альберт Галабурда решил обратиться к мозгу грызуна.

Идея искать причины дислексии у крыс и мышей сначала казалась верхом абсурда. Неудивительно, что над исследованиями Галабурды шутили все, кому не лень: «Ученый обнаруживает дефицит чтения у мышей!» Тем не менее эта инновационная экспериментальная стратегия привела к открытиям, которые можно смело отнести к числу наиболее значимых достижений в нейробиологии дислексии.

Галабурда хотел воспроизвести у животных аномалии нейрональной миграции, которые наблюдались у людей. Он был уверен, что это прольет свет на механизмы и последствия дислексии. Чтобы спровоцировать миграционные дефекты, подобные нарушениям дислексического мозга, Галабурда и его коллеги разработали оригинальный метод: они замораживали небольшие участки коры мозга молодых крыс. Таким образом нарушался каркас опорных (глиальных) клеток, которые направляют и сдерживают нейроны во время миграции. В том месте, где нейроны переместились за пределы их нормального расположения в коре, появлялись беспорядочные скопления (эктопии). Надежды Галабурды оправдались – теперь у него была животная модель, но не самой дислексии, а одной из ее возможных причин.

Вмешательство в мозг молодых крыс привело к неожиданным результатам. Локальная дезорганизация коры провоцировала аномальные нейронные разряды, иногда переходившие в полномасштабную эпилепсию. Что еще удивительнее, последствия обнаруживались даже на большом расстоянии от исходных очагов поражения. Само место заморозки практически не имело значения: любое повреждение коры влекло за собой ответную реакцию в центре мозга – в сенсорных ядрах таламуса. Эта область содержит множество нейронных цепей, одна из которых состоит из сенсорных нейронов, передающих зрительные и слуховые сигналы. У крыс самые крупные нейроны таламуса, принадлежащие к магноклеточному пути, отмирали быстрее, чем обычно. Иначе говоря, аномалии коры, характерные для дислексии, ускоряли гибель клеток в таламусе.

Вернувшись к человеческому мозгу (в этом случае к мозгу умерших пациентов с дислексией), Галабурда и его коллеги поместили под микроскоп таламус, а не кору, и обнаружили дезорганизацию, сравнимую с таковой у крыс. Так, у дислексиков слуховое ядро левого таламуса содержит слишком много мелких нейронов и очень мало крупных клеточных тел[[417]](#footnote-417). Могут ли эти аномалии объяснять сенсорные дефициты, часто встречающиеся при дислексии? Исследователи вновь обратились к животным и разработали усовершенствованные поведенческие тесты, выявившие дальнейшие параллели между людьми и крысами. В отличие от обычных крыс, особи, подвергнутые «заморозке», были нечувствительны к временной последовательности двух коротких звуков и не могли обнаружить небольшую паузу между ними. Эти базовые слуховые дефициты были очень похожи на те, что характерны при дислексии.

В скором времени Галабурду и его команду ждал второй сюрприз. Обнаруженные ими аномалии в основном наблюдались у самцов. У самок повреждение коры не вызывало ни гибели клеток в таламусе, ни сенсорных дефицитов. Управляя гормонами, ученые пришли к выводу, что тестостерон, концентрация которого выше у самцов, усиливал влияние повреждений коры на таламус. И здесь можно провести потенциальную аналогию между крысами и человеком. Хотя этот вопрос остается спорным, дислексия более распространена у мужчин, чем у женщин. Возможно, решающим фактором является «тестостероновый эффект», ускоряющий гибель нейронов таламуса.

На основании животной модели можно сделать следующий вывод: фонологические дефициты, возникающие в результате повреждений коры, одинаково часто встречаются у мужчин и женщин, но только у мужчин они усугубляются слуховыми и зрительными сенсорными дефицитами, связанными с таламусом.

Животная модель предлагает убедительный сценарий развития дислексии. Он носит гипотетический характер, но может объяснить основные анатомические и когнитивные особенности этой патологии[[418]](#footnote-418). Как показывают исследования Галабурды, примерно на шестом месяце беременности нарушения в миграции корковых нейронов вызывают многочисленные аномалии, такие как эктопии и крошечные складки коры. Распространение пороков развития коры головного мозга, главным образом сосредоточенных в речевых областях, препятствует формированию фонологических репрезентаций, необходимых для усвоения алфавитного принципа в возрасте шести лет. Параллельно в сенсорных цепях таламуса возникает каскад вторичных аномалий, что приводит к дальнейшему снижению точности кодирования слуховых и зрительных сигналов. Особенно часто это встречается у мужчин.

### Генетика дислексии

Хотя в описании механизмов, лежащих в основе дислексии, достигнут существенный прогресс, мы пока не знаем, что вызывает первоначальные аномалии в нейрональной миграции, способствующие развитию этой патологии. Более 10 лет назад Альберт Галабурда искусственно повреждал кору головного мозга крыс. Генетические аномалии у людей, возможно, играют аналогичную стимулирующую роль.

В конце 1990‑х годов Галабурда и его коллеги совершили настоящий прорыв в генетических исследованиях. Они вывели потомство мышей, у которых спонтанно развивались скопления дезорганизованных корковых нейронов (эктопии). Это был первый шаг к выявлению генетических механизмов, управляющих нейрональной миграцией.

Параллельно с этим исследования генома человека позволили создать обширные генетические базы данных по больным дислексией. Сопоставив генетическую информацию с результатами огромного количества когнитивных тестов, ученые определили шесть участков человеческого генома, связанных с дислексией и локализованных на хромосомах 1, 2, 3, 6, 15 и 18. Что означает эта связь? Строго говоря, она указывает на статистическую аномалию в передаче фрагментов ДНК. Некоторые части генома представляют собой своеобразные «горячие точки», которые у дислексиков наследуются чаще, чем у случайных людей. Косвенно это наблюдение свидетельствует о том, что эти цепи ДНК содержат гены дислексии.

Геном человека состоит из трех миллиардов пар оснований – «букв» A, T, G и C, обозначающих нуклеотиды аденин, тимин, гуанин и цитозин. Хотя большинство из них стабильны, миллионы все же могут варьироваться. Именно они формируют генетическую характеристику, делающую каждого из нас уникальным. Поэтому сложно определить, какие варианты генов предрасполагают к дислексии. Важный вклад в уточнение локализации соответствующих генов внесли ДНК сотен семей с детьми‑дислексиками, собранные у представителей сразу нескольких поколений. В 2003 году финская команда обнаружила первый ген‑«кандидат» – DYX1C1 (локализован на хромосоме 15). В 2004 и 2005 годах были идентифицированы еще три гена предрасположенности к дислексии – KIAA0319, DCDC2 (оба локализованы на хромосоме 6) и ROBO1 (локализован на хромосоме 3)[[419]](#footnote-419). По всей вероятности, в будущем будут открыты и другие гены.

Если в развитии дислексии задействовано множество генов, то это потому, что все они участвуют в сложных операциях, обеспечивающих формирование многочисленных нейронных цепей, необходимых для чтения. Строительство столь сложной сети можно сравнить с возведением небоскреба. Над проектом работают десятки архитекторов и подрядчиков, при этом ошибка любого из них может поставить под угрозу все предприятие. Архитектор, конечно, трудится над несколькими проектами одновременно. Точно так же ни один ген не посвящен исключительно чтению или фонологии. (Помните, что варианты всех этих генов есть у мышей!) Тем не менее некоторые из них играют ключевую роль в обеспечении прочности сооружения. Если архитектура смелая, а каркас слабый – как в случае с чтением сложного алфавитного письма, например английского или французского, – любая ошибка может привести к обрушению всего здания.

В случае чтения раннее формирование мозговых сетей, отвечающих за грамотность, предполагает гармоничную миграцию корковых нейронов в левую височную область и их надлежащее подсоединение к зрительным и речевым центрам. Нейробиологи выяснили, как это происходит во время беременности. Чтобы мигрирующие нейроны могли попасть из вентрикулярной зоны в кору, закладывается каркас из радиальных глиальных клеток, похожих на кабели. Глиальные клетки делятся, в результате чего образуются новые нейроны, которые буквально взбираются вверх по телу материнской клетки. Переселением таких клеток в кору мозга управляют разнообразные сигнальные и адгезивные молекулы.

Не так давно было сделано одно любопытное открытие. Оказывается, большинство генов подверженности дислексии (если не все) выполняют важную функцию на этой «строительной площадке» коры. Чтобы продемонстрировать их влияние, Джо Ло Турко и его коллеги из Коннектикутского университета вернулись к изучению крыс. В своих экспериментах они использовали так называемую РНК‑интерференцию. Система РНК‑интерференции мгновенно нарушает действие выбранного гена в определенном месте в заданное время[[420]](#footnote-420). Применив этот метод внутриутробно, в пределах вентрикулярной зоны, где рождаются нейроны, они показали, что три гена из четырех (DYX1C1, DCDC2 и KIAA0319) играют решающую роль в нейрональной миграции. При выключении этих генов нейроны не могут перемещаться далеко и образуют эктопии и крошечные складки, характерные для дислексического мозга. Определенное влияние оказывают и другие гены. Ген LIS, например, работает рука об руку с DYX1C1. Он настолько важен для миграции, что его нарушение вызывает выраженную умственную отсталость из‑за лиссэнцефалии, при которой полушария становятся гладкими, а кора полностью дезорганизована.

На момент написания этой книги роль четвертого гена, связанного с дислексией – ROBO1, – изучена не до конца. Копии его можно найти у мышей, кур и даже дрозофил (плодовых мух), у которых они контролируют рост дендритов и аксонов, связывающих левую и правую половины нервной системы. У человека соответствующей аномалией будет мальформация[[421]](#footnote-421) мозолистого тела – пучка связей, соединяющих два полушария. Как мы увидим в следующей главе, такая патология может быть связана со зрительными симптомами дислексии. Поскольку генетические исследования быстро продвигаются вперед, я уверен, что полная причинно‑следственная цепочка, связывающая гены с дислексическим поведением, будет установлена уже в самом ближайшем будущем.

### Преодоление дислексии

Нас часто спрашивают, приведет ли расширенное понимание биологических механизмов дислексии к новым методам лечения. В краткосрочной перспективе, к сожалению, вынужден сказать, что никакого **реального лекарства от этой патологии мозга пока не предвидится**. Если наше нынешнее понимание верно, **дислексия связана с аномалиями нейрональной миграции, возникающими во время беременности. В это время ни классическое медикаментозное лечение, ни более инновационная генная терапия практически невозможны.**

Читая лекции о чтении и его нарушениях, я сразу вижу родителей детей с дислексией. Многие из них воспринимают каждое научное достижение как удар в спину, не приносящий ничего, кроме плохих новостей. Дезорганизованное серое вещество, малоактивная височная кора, нейроны, которые не мигрируют должным образом, аномальные гены… Каждое из этих биологических открытий звучит как пожизненный приговор.

Большинство педагогов, напротив, реагируют с парадоксальным контрастом разочарования и облегчения. Услышав, что дислексия вызвана аномалиями мозга, многие заключают, что совладание с этой проблемой не в их компетенции. Болезнь находится вне сферы их влияния. Как может школьный учитель, которому с трудом удается обучить чтению даже нормальных детей, справиться с патологиями, возникшими еще до рождения ребенка? Вмешательство в работу мозга не их дело.

Хотя я, безусловно, понимаю эти чувства беспомощности и отчаяния, они демонстрируют два частых заблуждения относительно развития мозга. Первое состоит в том, что биология – это синоним жесткости, так как гены диктуют неизменные, железные законы, которые будут управлять нашим организмом на протяжении всей жизни. Но действительно ли мы беззащитны перед лицом всемогущего гена? Подобные рассуждения в корне ошибочны. Если взять близорукость – еще одно тяжелое наследственное заболевание, поражающее миллионы людей, – то его можно «вылечить» лучом лазера или ношением очков. Не исключено, что когнитивный эквивалент очков существует и для дислексии.

Второе ошибочное убеждение представляет собой одну из форм «криптодуализма» – идею о том, что психика и мозг принадлежат двум разным сферам. Он особенно распространен в педагогике. Даже сведущие и образованные люди верят, будто логопедия, реабилитация, компьютерное обучение, групповая поддержка и обсуждения действуют на психологическом уровне, не имеющем ничего общего с биологической тканью, из которой состоит мозг. Как могут эти виды терапии служить лекарством от врожденной аномалии в устройстве мозга?

На самом деле между любой нашей мыслью и паттернами разрядки определенных групп нейронов существует прямая связь: состояния психики являются состояниями мозгового вещества. Невозможно воздействовать на одно, не затронув при этом другое. Разумеется, это вовсе не означает, что мы можем заставить нейроны размножаться или мигрировать одной силой мысли! Я имею в виду, что классическое противопоставление психологии наукам о мозге не имеет оснований. Организация коры настолько сложна, что любое психологическое вмешательство должно вызывать резонанс в нейронных сетях на клеточном, синаптическом, молекулярном и даже генном уровнях. Тот прискорбный факт, что эта конкретная патология обусловлена микроскопическими нейробиологическими аномалиями, не означает, что психологическое лечение не поможет… или наоборот. Молекулярный и ментальный уровни неразрывно связаны друг с другом. Например, ионы лития помогают бороться с депрессией, а молекулы диацетилморфина гидрохлорида, также известного как героин, превращают нормального человека в маньяка.

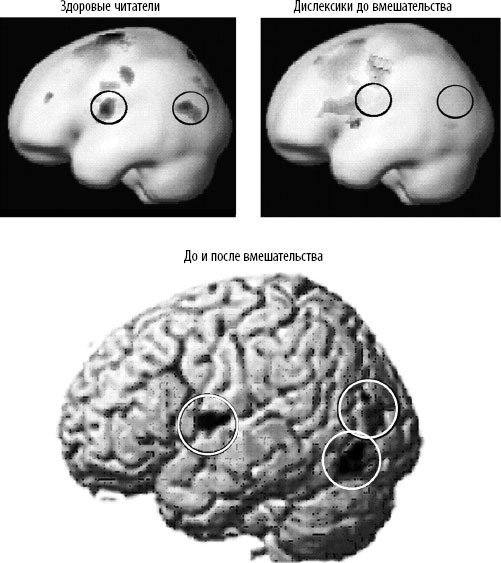
Учитывая все вышесказанное, я бы хотел подчеркнуть, что генетика – не приговор. Мозг – «пластичный» орган, который постоянно меняется и перестраивается. Гены и опыт имеют для него одинаково большое значение. Аномалии нейронной миграции затрагивают лишь очень небольшие участки коры. Мозг ребенка содержит миллионы избыточных цепей, способных компенсировать дефекты друг друга. Каждый новый эпизод научения модифицирует паттерны экспрессии генов[[422]](#footnote-422) и трансформирует нейронные цепи, тем самым позволяя преодолевать дислексию и другие нарушения развития.

Благодаря достижениям в области психологии чтения в настоящее время разрабатываются более результативные техники вмешательства при дислексии. С помощью методов визуализации мы можем проследить их влияние на кору и проверить, действительно ли они приводят к восстановлению сетей, необходимых для чтения и письма. В частности, за последние 20 лет было предложено сразу несколько эффективных стратегий[[423]](#footnote-423). Большинство этих программ направлены на повышение фонематической осведомленности посредством управления буквами и звуками. Например, детям показывают пары похожих слов, таких как «сом» и «том»[[424]](#footnote-424), и объясняют, как замена единственной буквы превращает одно слово в другое. На следующем этапе ребенок узнает, что букву «т», которая превращает слово «сом» в «том», можно использовать для написания других слов, например «ток», «торт» и «танки»[[425]](#footnote-425), а буква «с» волшебным образом трансформирует эти слова в «сок», «сорт» и «санки»[[426]](#footnote-426). В ходе таких игр ребенок с дислексией постепенно осознает фонему [т] и ее соответствие букве «т». Если он не может услышать разницу между фонемами [т] и [с], логопед или компьютер усилит ее настолько, что она станет очень отчетливой, а затем постепенно вернется к нормальному произношению.

Наши знания о пластичности мозга позволяют определить, какие именно компоненты способствуют успешному вмешательству. Во‑первых, занятия должны быть интенсивными и длительными, в идеале – каждый день на протяжении нескольких недель. Многочисленные исследования показали, что насыщенные тренировки, чередующиеся со сном, максимизируют пластичность мозга. Во‑вторых, важно задействовать сети, отвечающие за мотивацию, внимание и удовольствие. Эти системы внимания и вознаграждения оказывают огромное влияние на скорость обучения. Некоторые нейромодуляторные системы распространяют химические вещества, например ацетилхолин, на самые разные участки коры. По‑видимому, они сигнализируют о важности фиксации той или иной ситуации в памяти (вспомните о мгновенных воспоминаниях, вызываемых сильной эмоцией, например о том, где вы были 11 сентября?). Эксперименты на животных показывают, что этот модулирующий эффект может быть очень выраженным: если некий звук систематически совпадает с активацией ацетилхолиновых сетей, отвечающий за него участок коры значительно увеличивается, пока не вторгается в близлежащие корковые области, посвященные другим отвлекающим сигналам[[427]](#footnote-427). По этой причине максимизация внимания и положительных эмоций может оказать в высшей степени благотворное влияние на процесс обучения.

Другая эффективная стратегия состоит в том, чтобы замаскировать вмешательство[[428]](#footnote-428) под компьютерную игру. Маленьких детей привлекают компьютеры. Кроме того, коррекционные программы способны генерировать тысячи учебных ситуаций с минимальными финансовыми и трудовыми затратами. Но главное – такая программа может адаптироваться к каждому ученику. Она автоматически определяет уровень ребенка и предлагает задачи с учетом его индивидуальных возможностей. Таким образом, она ориентируется на то, что русский психолог Лев Выготский назвал зоной ближайшего развития. В этом случае максимизация научения достигается за счет введения новых понятий, которые достаточно сложны, чтобы заинтересовать ребенка, но вместе с тем достаточно просты, чтобы он мог их усвоить и сохранить решительный настрой[[429]](#footnote-429).

Хотя вмешательство не является чудодейственным лекарством, оно может оказать весьма положительное влияние. После интенсивной тренировки (несколько десятков часов) дети, скорость чтения которых была намного ниже положенного для их возрастной группы, достигают нижней границы нормы (говоря научным языком, количество полученных ими баллов возрастает на одно или два стандартных отклонения). Таким образом, **большинство детей с дислексией в конечном итоге овладевают чтением, хотя читают гораздо медленнее, чем их здоровые сверстники**. Важно отметить, что положительный эффект сохраняется в течение нескольких лет. В целом такой ребенок достаточно эффективно расшифровывает слова, однако беглость чтения остается низкой: вмешательство помогает научиться читать, но медленно. Возможно, это отставание связано с недостаточной практикой. По сравнению с другими детьми, реабилитированные дислексики упустили несколько лет и вынуждены учиться читать… с помощью чтения! Поэтому очень важно, чтобы ребенок делал это регулярно: это позволит автоматизировать навыки декодирования и обогатить зрительный словарь графем, морфем и слов.



**Рис. 6.3.** Интенсивное компьютеризованное вмешательство может частично восстановить нормальный паттерн мозговой активности у детей с дислексией. В ходе этого эксперимента дети должны были определить, рифмуются ли два слова. После занятий наблюдалось усиление активности некоторых участков височной и теменной коры. Последние были близки, но не идентичны зонам, активным у нормальных детей. Повышенная деятельность наблюдалась и в других областях правого полушария – на этих снимках они не показаны (по материалам статьи Temple et al., 2003)*. Использовано с разрешения Proceedings of the National Academy of Science, USA.*

Визуализация мозга подтверждает положительное влияние интенсивного когнитивного вмешательства. В разных исследованиях наблюдаются два основных типа изменений в мозге: нормализация и компенсация[[430]](#footnote-430). При дислексии особенно характерна сниженная активность в левой височной области. Интервенционная[[431]](#footnote-431) терапия позволяет частично восстановить активацию этой зоны. После вмешательства практически во всех исследованиях, будь то с использованием МРТ или магнитоэнцефалографии, регистрируется повышение активности. Кроме того, реактивация наблюдается в вентральной затылочно‑височной области «буквенной кассы» и в нижнем отделе левой лобной доли, связанном с артикуляцией (рис. 6.3). Функциональная МРТ свидетельствует о восстановлении функции участков, близких к тем, которые обычно задействованы у здоровых людей, но не идентичных им.

Визуализация мозга также показывает выраженные компенсаторные эффекты. После реабилитации активность возрастает в нескольких областях правого полушария, симметричных нормальной сети для чтения. Вполне вероятно, что при левополушарных нарушениях мозг задействует соответствующие области правого полушария. Они содержат неповрежденные нейронные сети, изначальная функция которых допускает переориентацию на чтение.

Исследования по дислексии обнадеживают. Всего за несколько десятилетий они позволили прояснить природу основного дефицита – фонологического нарушения, его нейрональные механизмы и способы компенсации. Однако некоторые вопросы относительно индивидуальных вариаций по‑прежнему остаются без ответа. Например, всем ли дислексикам свойственны одинаковые нарушения? Можно ли диагностировать точный дефицит у каждого ребенка и использовать эту информацию для коррекции лечебной программы? Не игнорируют ли современные исследования подгруппы детей, для которых будет полезен совершенно иной подход?

Хотя научные данные, собранные за последние 30 лет, в значительной степени подтверждают фонологическую гипотезу, определенные сомнения остаются до сих пор. Как ни странно, один из самых точных тестов на выявление дислексии состоит в измерении скорости, с которой дети называют цифры и картинки. Эта задача не направлена на фонологическую обработку напрямую. В больших группах детей тесты по фонологии и быстрому называнию объясняют разные типы различий в скорости чтения. Это наблюдение подразумевает, что в то время как большинство детей преимущественно страдают фонологическими дефицитами, трудности некоторых проистекают из другого источника. По всей вероятности, важную роль играет процесс автоматизации связей между зрением и речью. Именно о зрении мы и поговорим в следующей главе. В частности, я попытаюсь объяснить, почему так много детей склонны путать зеркальные буквы – например, «p» и «q».

## 7

## Чтение и симметрия

При чтении человек с дислексией путает левую и правую стороны, из‑за чего совершает зеркальные ошибки. Восприятие симметрии, вероятно, играет важную роль в чтении, но лево и право путают не только дислексики. В раннем возрасте практически все дети допускают подобные ошибки. В самом деле, способность к обобщению симметричных изображений, облегчающая инвариантное распознавание объектов, является одной из важнейших компетенций нашей зрительной системы. При формировании навыка чтения дети должны отказаться от зеркального обобщения, иначе они не смогут обрабатывать «b» и «d» как разные буквы. Поскольку этот процесс идет вразрез со способностями, приобретенными человеком в ходе эволюции, он может стать источником разного рода нарушений.

Теперь, если ты только будешь слушать, Китти, и не слишком много болтать, я расскажу тебе все, что я думаю насчет дома за зеркалом. Во‑первых, там есть комната. Ты видишь ее через стекло. Это такая же комната, как наша гостиная, только вещи там стоят иначе… Книги у них почти как наши книги, только слова у них наоборот. Я знаю это потому, что я раз держала так книгу перед зеркалом, и они тогда тоже поднесли так книгу в своей комнате.

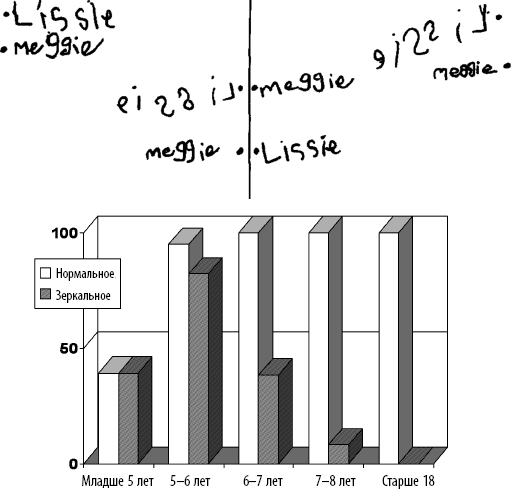
ЛЬЮИС КЭРРОЛЛ, «АЛИСА В ЗАЗЕРКАЛЬЕ»[[432]](#footnote-432)

Когда моему сыну Оливье было пять лет, он несколько месяцев вел себя как персонаж из сказки Льюиса Кэрролла. Его только что научили писать свое имя, и он с гордостью подписывал все свои рисунки. Однако примерно на половине из них Оливье невольно совершал странную ошибку: он писал свое имя справа налево! Все буквы были на месте и расположены в правильном порядке, но они были перевернуты – . Хотя я гордился тем, что мой ребенок подражает Леонардо да Винчи, меня это беспокоило. Не было ли это странное поведение признаком зарождающейся дислексии?

Обратившись к научной литературе, я, с одной стороны, немного успокоился, а с другой – задумался. Оказывается, дети во всем мире совершают одни и те же ошибки. Во‑первых, они с трудом отличают буквы и слова от их зеркальных отражений, а во‑вторых, периодически пишут задом наперед (рис. 7.1)[[433]](#footnote-433). Зеркальное письмо наблюдается во всех культурах, включая Китай и Японию. Оно возникает, когда дети только начинают писать, а затем быстро исчезает. До 8–10 лет никаких причин для беспокойства нет. В более старшем возрасте зеркальные ошибки действительно чаще встречаются у детей с дислексией[[434]](#footnote-434).

У моего сына зеркальное письмо сохранялось всего несколько месяцев. Он научился читать и писать с нормальной скоростью, но я по‑прежнему ломал голову над «зеркальной стадией» в приобретении навыка чтения. Откуда же берется эта таинственная способность? Во взрослом возрасте написать свое имя справа налево не так‑то просто! Как же получилось, что маленькие дети, которые и карандаш‑то держат с трудом, демонстрируют навыки, превосходящие способности большинства образованных взрослых? А главное – если дети легко обнаруживают аномалии в рисунках и пропущенные буквы в своих именах, почему они не замечают, что пишут их наоборот?

Этот странный коктейль таланта и слепоты придает неповторимый колорит загадке, о которой я хочу поговорить ниже. Зеркальное письмо, благодаря своей уникальности, добавляет еще один весомый аргумент в пользу гипотезы нейронного рециклинга. Как отмечали Чарлз Дарвин и Стивен Джей Гулд, наиболее убедительное доказательство эволюции заключается в несовершенстве природы. Идеальную конструкцию глаза или безупречный профиль крыла, возможно, и правда создал божественный гений. Но какое злое божество додумалось поместить один глаз камбалы снизу, чтобы ему пришлось мигрировать вокруг всей головы во время развития? Какой божественный архитектор был бы настолько чудаковат, чтобы протянуть слуховой нерв жирафа от уха до основания шеи, а затем обратно к мозгу? Если бы организмы были безупречны, я, вероятно, испытывал бы некоторую симпатию к идее разумного замысла[[435]](#footnote-435). Однако строение живых существ обнаруживает так много промахов, что теория Дарвина представляется безусловным победителем: только слепое действие эволюции может объяснить такие странности.



**Рис. 7.1. Большинство детей проходят через «зеркальную стадию», во время которой путают лево и право при чтении и письме.** Джеймс Корнелл попросил двух сестер написать свои имена рядом с черными точками. Если для нормального письма слева направо не хватало места, то Лисси, которой было пять лет, писала свое имя справа налево. Шестилетняя Мегги, напротив, всегда писала свое имя слева направо (по материалам статьи Walsh & Butler, 1996). Как показывает диаграмма ниже, **почти все дети в возрасте пяти лет могут писать в обоих направлениях** (Cornell, 1985). *Использовано с разрешения Behavioral Brain Research.*

Аналогичный аргумент применим и в психологии. Адаптации поведения к окружающей среде можно дать два разных объяснения. Она может возникать в результате следующих факторов: а) воздействия эволюции на нашу генетическую структуру; б) научения. Если поведение идеально приспособлено к текущим условиям – например, как чтение у взрослых, – отделить влияние наследственности от воздействия среды практически невозможно. Однако в тех случаях, когда ребенок совершает систематическую ошибку или, наоборот, демонстрирует компетенцию, выходящую за рамки его возможностей, мы имеем явное доказательство того, что он полагается на усовершенствованные психические механизмы, приобретенные в ходе эволюции.

Благодаря одноименной книге Стивена Джея Гулда[[436]](#footnote-436), большой палец панды стал символом эволюции. Это на самом деле не настоящий палец, а удлинение лучезапястной кости, которая вместе с соответствующей мышечной тканью позволяет панде держать побег бамбука во время приема пищи. Любой разумный инженер продублировал бы один из существующих пальцев, но Матери‑Природе оказалось легче добавить в это устройство другую кость, сесамовидную. Само существование столь странного приспособления свидетельствует о том, что лапу панды сформировала эволюция, а не рассудительный творец.

На мой взгляд, зеркальное чтение является точно такой же аномалией, как и большой палец панды. Если дети путают лево и право, то это потому, что их зрительная система подчиняется строгим ограничениям симметрии. Наш зрительный мозг полагает, что природу не интересует лево и право, а потому автоматически обобщает зеркальные отражения. Механизм обработки симметричных изображений, приобретенный нами в ходе эволюции, встроен в саму структуру нашей коры мозга и оказывает сильное влияние на нормальный и нарушенный процесс чтения.

В целом архитектура нашей зрительной системы подходит для чтения. Прежде всего она позволяет эффективно распознавать формы букв и слов независимо от их размера и регистра. Тем не менее такое ее свойство, как обобщение симметричных изображений, препятствует чтению. Оно замедляет процесс научения и приводит к систематической путанице между такими буквами, как «p» и «q». Как и большой палец панды, эта аномалия явно свидетельствует о том, что наш мозг не предназначен для чтения, но подстраивается к нему любыми доступными способами.

### Когда животные путают лево и право

Методическое изучение склонности путать лево и право восходит к Павлову. В 1920‑е годы его лаборатория провела целую серию исследований, посвященных ограничениям обусловливания рефлексов у животных. Может ли собака научиться выделять слюну на один раздражитель, но не на другой? Хотя животные превосходно различают зрительные стимулы, попытка научить собак отличать лево и право дала неожиданные результаты. Реакция слюноотделения наблюдалась вне зависимости от того, по какому боку их гладили. Казалось, дифференциация правой и левой сторон было за гранью их возможностей. Распознавать симметричные стимулы могли только те собаки, у которых было рассечено мозолистое тело – пучок волокон, соединяющий два полушария. Павлов пришел к выводу, что зеркальные ошибки возникают в результате активного обобщения, когда знания, полученные в одном полушарии, передаются другому.

Со времен Павлова многочисленные исследования на животных показали: склонность путать зеркальные отражения носит универсальный характер[[437]](#footnote-437). Предположим, голубя обучили клевать ключ с изображением диагональной черты, а затем проверили способность к переносу такого поведения на другие линии. Можно наблюдать два пика реакции: голубь отвечает не только на усвоенную ориентацию, но и на симметричную ей. Хотя птица никогда не видела новой линии, она ведет себя так, будто этот образ идентичен усвоенному. При рассечении межполушарных связей эта способность исчезает[[438]](#footnote-438).

Психология показывает, что мы ведем себя точно так же, как голуби и собаки. Усвоив некую зрительную форму, мы немедленно распространяем это знание на ее зеркальное отражение. Так, Майкл Тарр и Стивен Пинкер обучили студентов произвольным названиям фигур, похожих на деревья с несколькими ветками[[439]](#footnote-439). После тренировки испытуемым предложили новые модели, часть из которых были зеркальными отражениями первоначальных стимулов. Хотя студенты никогда не видели их раньше, они определяли новые формы с той же скоростью, что и первоначальные. Таким образом, лево‑правая симметрия не перегружает нашу нервную систему – любая заученная форма немедленно переносится на свое зеркальное отражение.

Вот простой тест на память. Помните ли вы, в какую сторону повернуты плечи Моны Лизы? А какая рука лежит сверху? На монете в 25 центов изображен левый или правый профиль Джорджа Вашингтона? В какой руке статуя Свободы держит книгу? Ответы приведены на рис. 7.2.



**Рис. 7.2.** Наша зрительная память невосприимчива к ориентации. Эти образы кажутся вам знакомыми? Вероятно, вы впервые видите их такими – все они зеркально перевернуты.

Эксперименты Ирвинга Бидермана и его коллег из Южно‑Калифорнийского университета подтверждают: человеческая память не чувствительна к зеркальной симметрии. В своих исследованиях они опирались на эффект перцептивного прайминга: мы называем образ быстрее, если видели его раньше. Это свидетельствует о том, что след зрительной памяти сохраняется в течение нескольких дней или недель. Однако, в отличие от фотографии, в памяти «записывается» вовсе не идеальный образ увиденного. Зрительный прайминг наблюдается даже тогда, когда второе изображение смещено в пространстве или зеркально перевернуто[[440]](#footnote-440).

Вкратце, **наша память не всегда сохраняет пространственную ориентацию знакомого образа. Увидев его снова, мы не можем сказать, что это: оригинал или его зеркальное отражение**. Подобное обобщение не имеет ничего общего с перцептивными ограничениями. На сетчатке два зеркальных изображения, например левый и правый профили Моны Лизы, отличаются. Наша зрительная система способна замечать гораздо более тонкие различия, такие как несоответствия между двумя лицами, представленными под одним и тем же углом. Если мы путаем зеркальные образы, то не потому, что не видим их. Вероятно, ошибки возникают из‑за того, что наша зрительная система объединяет несколько видов под одним и тем же ярлыком. Левые и правые стороны одного и того же изображения рассматриваются как один объект.

### Эволюция и симметрия

Почему наша нервная система так нечувствительна к инверсии левой и правой сторон? Вероятно, потому, что мы эволюционировали в среде, где это различие в значительной степени не является существенным[[441]](#footnote-441). Хотя мы живем в трехмерном мире, только две его оси оказали сильное влияние на нашу эволюцию. Первая ось, вертикальная, устанавливается силой тяжести. Вторая применима только к подвижным видам и направлена спереди назад. Она определяет привилегированную часть тела – перед, где расположены органы чувств и аппарат для приема пищи. Вместе эти две оси характеризуют строение нашего тела и влияют на восприятие пространства. Без способности отличать вертикаль от горизонтали, далеко от близко или переднюю часть животного от задней выживание невозможно. За миллионы лет мозг отлично приспособился к этим геометрическим ограничениям. Наша зрительная система, как и у других приматов, имеет сложные механизмы для вычисления расстояний и восприятия надвигающейся опасности сверху или снизу (орел или змея), а также для распознавания лиц, включая выражение эмоций. Согласитесь, к задней части тела мы чувствительны гораздо меньше!

Третьему параметру пространства, оси «лево – право», эволюция уделила меньше внимания. Левая и правая стороны тигра выглядят одинаково угрожающе… но зверь представляет меньшую угрозу в положении вверх ногами, чем правым боком к нам![[442]](#footnote-442) Инверсия вдоль оси «лево – право» не играет большой роли, поскольку оставляет мир практически неизменным. Разглядывая фотографии природы, мы не можем определить, перевернуто изображение или нет – если, конечно, снимок не содержит слов, автомобилей, дорожных знаков или других искусственных объектов.

Таким образом, эволюция явно не способствовала развитию способности различать лево и право – скорее наоборот. Путать зеркальные изображения даже полезно, если наша цель – быстро обобщать приобретенные знания на новые ситуации. Представьте себе, например, что один из наших предков выжил после встречи с тигром, который напал на него справа. Спустя какое‑то время тот же самый тигр снова подкрался к нему, на этот раз слева. Разумеется, если бы наш предок сразу узнал животное с этой стороны, это было бы ему только на руку.

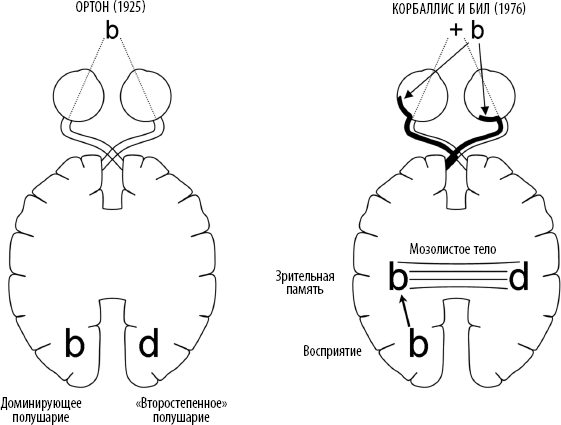
Эволюция наделила нас зрительной системой, способной обобщать ракурсы слева и справа. К несчастью, нервная система иногда путает предметы, зеркальное отражение которых отличается от оригинала – например, ботинки или перчатки. Впрочем, риск ошибки достаточно мал. В естественной среде большинство животных и растений обладают осью симметрии или квазисимметрии, по крайней мере снаружи – в отличие от внешних частей тела, внутренним органам не обязательно быть симметричными. По‑видимому, эволюция вычислила, что мы будем иметь больше пользы, если не станем различать лево и право, зато сможем быстрее реагировать в критических ситуациях.

### Восприятие симметрии и симметрия мозга

Какой же биологический механизм отвечает за зеркальное восприятие? За последние 80 лет наибольший интерес и споры в психологическом сообществе вызвала спекулятивная гипотеза Ортона[[443]](#footnote-443). В 1920‑х годах доктор Сэмюэл Ортон, американский врач, который первым начал изучать дефициты чтения, попытался связать их с анатомией мозга. Его теория стала первой методической попыткой объяснить дислексические ошибки. По этой причине она представляет особый исторический интерес, даже если в свете современных знаний об анатомии мозга и кажется несколько надуманной.

Что же предлагал Ортон? Он заметил, что левое полушарие является почти зеркальным отражением правого. Исходя из этого, он предположил, что два полушария кодируют зрительную информацию зеркально‑симметричным способом. Всякий раз, когда левое полушарие видит букву «b», правое воспринимает симметричное изображение, «d» (рис. 7.3). Ортон не смог объяснить, как эта гипотетическая реверсия работает на уровне нейронов – он просто утверждал, что «группы клеток, подвергающихся воздействию любого зрительного стимула в правом полушарии, являются точными зеркальными аналогами клеток в левом»[[444]](#footnote-444).

Если в нашем мозге сосуществуют два ментальных образа, один из которых представляет объект, а другой – его зеркальное отражение, то неудивительно, утверждал Ортон, что мы так часто путаем лево и право. Согласно его теории, мы воспринимаем наше окружение, прислушиваясь к одному полушарию и приглушая другое. В задаче на называние букв и слов здоровые испытуемые обычно полагаются на левое полушарие, специализирующееся на речи. Читая слова, мы позволяем ему доминировать и игнорируем зрительную информацию, поступающую из правого полушария. Именно опора на одно, левое полушарие позволяет нам отличать «b» от «d». В противном случае эти буквы были бы неразличимы.



**Рис. 7.3.** Для объяснения тенденции путать зеркальные отражения были предложены две неврологические теории. С точки зрения Ортона (1925), симметрия мозга подразумевает, что каждый зрительный образ кодируется дважды: в правильной ориентации в доминирующем полушарии и в перевернутом виде во второстепенном полушарии. Путаница с зеркальными отражениями возникает тогда, когда человек не может подавить зрительный код второстепенного полушария. Альтернативная теория Корбаллиса и Била (1976) предполагает, что предъявление буквы первоначально активирует зрительные области противоположного полушария (что согласуется с нашими современными знаниями о зрительной системе). Однако активный механизм научения переносит знакомую форму в другое полушарие через мозолистое тело. Во время этого процесса геометрия связей, соединяющих симметричные точки в двух полушариях, осуществляет лево‑правую инверсию. Для Корбаллиса и Била неспособность различать зеркальные отражения, таким образом, есть результат обобщения, а не подлинной ошибки. В ходе эволюции наша зрительная система привыкла к тому, что зеркальные отражения часто представляют собой один и тот же объект, рассматриваемый с разных сторон.

Ортон предположил, что у некоторых людей зеркальные ошибки возникают из‑за недостаточного разграничения функций обоих полушарий. Эта особенность не позволяет избирательно прислушиваться только к одному из них. Случайно полагаясь то на одно, то на другое полушарие, такие люди неизбежно путают лево и право и не различают зеркальные образы. Ортон назвал эту гипотетическую патологию стрефосимволией, что в переводе с греческого означает «переворачивание символа».

Спустя 80 лет теории Ортона кажутся чрезмерно упрощенными. Тем не менее в одном он был прав: зрительные карты, занимающие затылочную часть левого и правого полушарий, действительно организованы как зеркальные отражения друг друга. Однако в первичной зрительной области поступающие изображения *не* дублируются в двух полушариях. Зрительные проекции гораздо проще: левая половина зрительного поля проецируется на правое полушарие, а правая – на левое. Таким образом, когда мы видим букву «р» в правой половине зрительного поля, она кодируется первичной зрительной областью левого полушария, а соответствующая область правого полушария (гомолог) кодирует… ничего не кодирует, поскольку не получает никакой зрительной информации из этой части пространства.

По мере того как информация движется по иерархии зрительных областей, проблема дублирования становится более актуальной. Вторичные и третичные зрительные области, функционально удаленные от сетчатки, реагируют на более обширные участки зрительного поля. В результате один визуальный объект начинает активировать группы нейронов в обоих полушариях. Вместе с этим нейронный код становится более абстрактным. Пространственное распределение нейронов больше не отражает форму объекта на сетчатке. На этом этапе, как мы видели в главе 3, появляется комбинаторный код для ориентации линий, кривизны, цвета и других идентификаторов формы. Таким образом, на высших уровнях зрительной иерархии два набора нейронов, кодирующих букву «р» в левом и правом полушариях, *не* повторяют форму зрительного стимула. Вопреки убеждению Ортона, они никак не могут быть «точно симметричны» друг другу.

Другая проблема с теорией Ортона заключается в том, что даже если нейронные цепи, кодирующие букву «р» в двух полушариях, являются зеркальными отражениями друг друга, то непонятно, почему эта нейрональная симметрия обязательно должна вызывать зеркальные ошибки. В этом отношении гипотеза Ортона кажется ошибочной. Она напоминает наивную идею о том, что хрусталики в наших глазах переворачивают изображение, а потому при зрительной обработке его прежде всего нужно вернуть в исходный вид. На ум приходит теория гомункула о воображаемом человечке, который якобы управляет нашим мозгом, смотрит в зрительные области, как на экраны компьютера, и совершает ошибки, если на одном из них право и лево меняются местами. Подобный упрощенный взгляд несостоятелен. В нашем мозге нет никакого скрытого наблюдателя. Зрительная система не нуждается в нем – она просто извлекает информацию и кодирует ее в разных форматах, которые помогают нам выбирать оптимальное поведение.

Вопреки предположениям Ортона, не имеет значения, что буква «р» представлена двумя симметричными группами нейронов в левом и правом полушариях, так как любая из них может быть приемлемым абстрактным кодом для буквы «р». Утверждать, что одна из этих групп правильно ориентирована и репрезентирует истинное изображение, в то время как другая зеркально перевернута, значит совершать фундаментальную ошибку. Так, с равным успехом можно заявить, что слово «красный» должно кодироваться красными нейронами, а зрительное движение – реальным движением нейронов!

Не менее упрощенными кажутся и представления Ортона о латерализации полушарий. Если левое полушарие правильно кодирует ориентацию объектов, а правое – неправильно, то мы должны совершать зеркальные ошибки во всех видах задач, задействующих правое полушарие, включая задачи на пространственную память и зрительное внимание.

Вкратце, гипотеза Ортона путает код и то, что он представляет. В 1920‑е годы нейронный код для письменных слов рассматривали как своего рода «образ» на поверхности коры. Развитие теории информации и компьютерных наук в 1950‑х годах позволило лучше понять его природу. Сегодня мы знаем, что любая система знаков может служить средством передачи информации при условии, что она не является двусмысленной и «поставляется» с адекватными процедурами кодирования и декодирования. Нейронному коду вовсе не обязательно повторять форму объекта, который он репрезентирует.

Несмотря на лавину критических замечаний, гипотеза Ортона остается на удивление привлекательной. Можно опровергнуть его теорию, но не факты, которые лежат в ее основе. Многие дети действительно путают лево и право и совершают зеркальные ошибки при чтении и письме. Одни рождаются левшами, другие страдают речевыми нарушениями, предполагающими аномальную латерализацию полушарий. Возможно ли оставить ключевые элементы теории Ортона и заполнить ее основные пробелы?

### Современные последователи доктора ортона

В 1970‑х годах Майкл Корбаллис и Айван Бил из Оклендского университета предложили современную трактовку гипотезы Ортона[[445]](#footnote-445). В соответствии с имеющимися сегодня нейробиологическими данными они утверждали, что на начальных стадиях анализа зрительные области обоих полушарий обрабатывают независимые фрагменты изображения (см. рис. 7.3). Анатомическая симметрия зрительных областей вступает в игру только при передаче данных из одного полушария в другое. Согласно Корбаллису и Билу, всякий раз, когда одно полушарие получает новую зрительную информацию, след памяти немедленно передается второму, поддерживая взаимосвязь между ними. Обмен данными главным образом осуществляется через мозолистое тело – скопление волокон, связывающих симметричные области двух полушарий. Поскольку эти волокна устанавливают взаимно однозначные соответствия между симметричными зрительными областями, утверждают Корбаллис и Бил, в результате такой передачи правая и левая стороны должны меняться местами. Таким образом, зеркальная инверсия наших зрительных воспоминаний – это естественное следствие геометрии межполушарных связей.

Что интересно, модель Корбаллиса и Била не подразумевает сбоев в самом процессе восприятия. На начальных стадиях обработки зрительной информации мы корректно распознаем правильно ориентированный визуальный мир. Эта информация может быть использована для эффективного руководства нашими действиями – например, мы можем проследить контур буквы «b», не переворачивая ее в две стороны. Приобретенные зрительные знания обобщаются только на втором этапе, когда мы запоминаем букву. Вот почему мы не помним, в какую сторону смотрит Мона Лиза.

Рассмотрим конкретный пример того, как теория Корбаллиса и Била объясняет зеркальную инверсию. На своем первом уроке чтения ребенок видит букву «b» и узнает, что она произносится как [би]. Если ее образ впервые появляется слева от ребенка, он изначально кодируется в правом полушарии. Популяции нейронов этого полушария связывают форму с названием, а после запоминания передают информацию в левое полушарие. Там «b» превращается в «d», но по‑прежнему ассоциируется со звуком [би]. На следующий день ребенок видит букву «d» в правой половине зрительного поля и уверенно заявляет, что это [би]. К его великому удивлению, учитель говорит, что перед ним буква [ди]. Новая информация запоминается… но сразу же дестабилизирует прежнее знание буквы «b».

Если Корбаллис и Бил правы, **для того, чтобы научиться читать, ребенок должен отключить автоматическое отзеркаливание**. Иными словами, он должен перестать воспринимать буквы «b» и «d» как один объект, рассматриваемый под разными углами. Этот процесс переучивания представляет определенные сложности для всех детей и создает непреодолимые препятствия для дислексиков.

Модель Корбаллиса и Била лишена ключевых недостатков первоначальной гипотезы Ортона. Она не утверждает, что нейронный код имеет правильную ориентацию в одном полушарии и неправильную в другом. Она говорит о том, что межполушарный перенос распространяет зрительную память на зеркальные отражения объектов, воспринятых ранее. Этот процесс подразумевает, что буква «b» в левом поле зрения активирует те же зрительные нейроны, что и буква «d» в правом поле. В результате области мозга, расположенные на более высоких уровнях зрительной иерархии, не могут различить эти два образа. Информация об ориентации букв стирается и не фиксируется в памяти.

Почему эволюция выбрала механизм научения, который фактически отбрасывает информацию, а не сохраняет ее? Несомненно, потому, что он обеспечивает простой способ воспользоваться симметрией, часто присутствующей в естественном мире. Организм, снабженный этим механизмом, может распознать левый профиль тигра так же легко, как и правый.

Согласно модели Корбаллиса и Била, в основе наших способностей к зеркальной инверсии лежит активное поддержание симметричной структуры зрительного мозга. Все мы рождаемся с набором взаимно однозначных зрительных связей, соединяющих два полушария, а также с механизмами научения, позволяющими сохранить эту первоначальную симметрию. С помощью нескольких генов и пространственных градиентов связи мозолистого тела устанавливают взаимно однозначные соответствия между аналогичными областями мозга – нечто подобное мы можем наблюдать у бабочки: рисунок на ее крыльях идеально симметричен[[446]](#footnote-446). Еще до рождения – то есть до любого взаимодействия со зрительным миром – мозг интегрирует лево‑правую симметрию как важное свойство окружающей среды. Вероятно, все мы заранее запрограммированы на обобщение симметричных изображений. Этот встроенный механизм дает нам преимущество во взаимодействиях с окружающей средой. Чтобы сберечь его, наш мозг должен сохранить первоначальную симметрию. В этом и есть ключ к механизму Корбаллиса и Била: всякий раз, когда научение изменяет нейронные сети в одном полушарии, связи мозолистого тела восстанавливают симметрию за счет аналогичных трансформаций в другом.

### Плюсы и минусы симметричного мозга

Представим, что мы являемся совершенными «машинами Корбаллиса» – идеально симметричными организмами. Наше левое полушарие – точное зеркальное отражение правого, включая нейроны, связи и прочие особенности. Как бы мы себя вели? Смогли бы мы по‑прежнему перемещаться в пространстве, отличать левую сторону от правой или называть зрительные объекты? Ошибки какого типа мы бы совершали? Были бы они похожи на зеркальные ошибки маленьких детей?

Здесь мы должны отказаться от одного ошибочного представления. Даже если наш организм был бы абсолютно симметричным, вплоть до самых глубоких тайников его нервной системы, то он не обязательно путал бы лево и право во всех ситуациях без исключения. На самом деле такой организм смог бы выполнять пространственно ориентированные действия в ответ на асимметричную стимуляцию. Вообразите, например, что он видит тигра, приближающегося справа. Допустим, он заранее запрограммирован на то, чтобы при появлении хищника справа бежать влево. Симметрия его тела подразумевает, что при появлении тигра слева он должен предпринять симметричное действие (бежать вправо). Следовательно, любой наблюдатель неизбежно придет к заключению, что этот совершенно симметричный организм превосходно отличает левую сторону от правой.

Наш гипотетический симметричный организм одинаково откликается на два зеркальных отражения только в том случае, когда реакция носит условный и непространственный характер. Если он научится произносить слово «тигр» при виде правой стороны тигра, то симметрия его тела заставит его дать аналогичный ответ и при появлении левой стороны животного. Другими словами, он может распознать и даже назвать тигра независимо от его ориентации в пространстве. Эта полезная особенность проявляется сразу же, как только организм видит хищника под новым углом.

Обладание симметричным мозгом и поддержание этой особенности в процессе научения имеет два преимущества:

• Симметрия тела позволяет организму определять зрительные объекты инвариантно, независимо от их левосторонней или правосторонней ориентации в пространстве.

• Это не мешает совершению надлежащих движений и жестов, ориентированных в пространстве.

Существует, однако, два вида операций, которые симметричному организму не под силу. Первый из них – это произвольная реакция на асимметричный объект, но не на его зеркальное отражение. В повседневной жизни без таких операций трудно обойтись. Например, мы произносим как [би] букву «b», но не «d», и говорим «левая» при виде левой руки, но не правой. Идеально симметричный организм не смог бы выполнить эти задачи, какими бы простыми они ни казались.

Вторая операция, недоступная зеркальному мозгу, состоит в выполнении асимметричных жестов в ответ на команду, не содержащую пространственной информации. Предположим, вас просят поднять только правую руку по сигналу «правая». Идеально симметричный организм не сможет этого сделать: связи, соединяющие слуховые области с моторными командами, вызовут движение не только правой, но и левой руки. Следовательно, такой организм будет выполнять жесты сразу двумя конечностями или, при наличии некоторого шума, беспорядочно поднимать то одну, то другую.

Удивительно, но теоретические ограничения симметричного организма в точности совпадают с экспериментальными наблюдениями за животными и маленькими детьми. Ни один ребенок не испытывает трудностей с называнием знакомого предмета, даже если смотрит на него под новым углом. Бросая мяч, ни один малыш не станет поднимать левую руку, если держит мяч в правой. С другой стороны, все дети не только с трудом различают буквы «b» и «d», но и регулярно путают левую и правую руки.

Таким образом, хотя концепция симметричного мозга, активно поддерживающего свою пропорциональность в процессе научения, представляется несколько надуманной, она заслуживает самого пристального внимания, поскольку отражает некоторые когнитивные ограничения, присущие человеку в совладании с левым и правым. Если так, нам нужны конкретные доказательства того, что межполушарный перенос действительно навязывает лево‑правую инверсию, постулируемую Корбаллисом и Билом. На самом деле все вышеизложенное не настолько оторвано от биологии, как может показаться на первый взгляд. Результаты нескольких экспериментов свидетельствуют о тесной связи восприятия симметрии с самой симметрией мозга.

### Симметрия одного нейрона

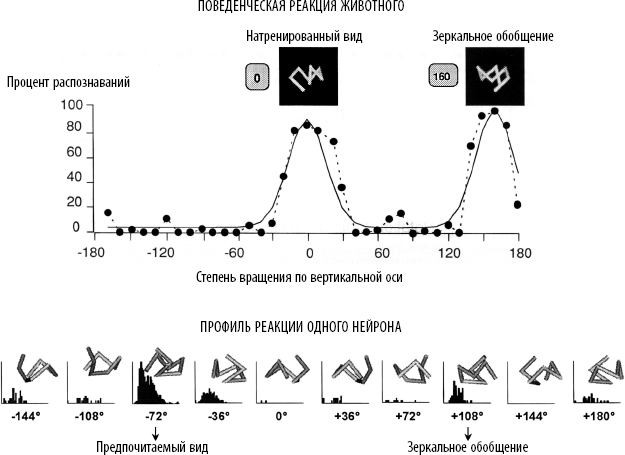
Нейрофизиологи только начинают изучать нейрональный базис восприятия симметрии, но имеющиеся данные уже указывают на зеркальную симметрию как на один из основных инвариантов, извлекаемых нейронами нижней височной коры. Именно там расположена «буквенная касса» мозга. Как я уже отмечал ранее, нейроны нижней височной коры, независимо от изменения угла обзора, склонны отдавать предпочтение определенным зрительным объектам. Нейрон, который предпочитает, скажем, лицо Дженнифер Энистон, сохраняет свой выбор безотносительно к его размеру и положению на сетчатке. Недавно нейрофизиологи сообщили, что некоторым из этих клеток свойственна инвариантность к зеркальной симметрии[[447]](#footnote-447): профиль их отклика остается идентичным даже при лево‑правой инверсии изображения.

Важно отметить, что эти нейроны часто демонстрируют большую инвариантность относительно горизонтальной инверсии, нежели вертикальной. Например, нейрон, который интенсивно реагирует на букву «р», точно так же будет отвечать на ее зеркальное отражение по оси «лево – право» («q»), но не на буквы, симметричные по вертикальной оси. Другими словами, этот нейрон отличает «р» от «b», но не «р» от «q».

В совокупности нейроны нижней височной коры реализуют перцептивную инвариантность: они позволяют распознавать объект независимо от его размера и положения в пространстве. Электрофизиологические данные подразумевают, что **противопоставление «лево – право» входит в число несущественных различий, которые наша вентральная зрительная система систематически игнорирует.**

Если теория Корбаллиса и Била верна, специально учиться зеркальной инвариантности не нужно. Она принадлежит к структурным инвариантам, изначально присущим организации наших межполушарных связей. Исследования нейрофизиолога Никоса Логотетиса[[448]](#footnote-448) убедительно подтверждают эту гипотезу. Логотетис обучил макак распознавать необычные трехмерные фигуры, похожие на скрученные скрепки для бумаг (рис. 7.4). Он хотел узнать, смогут ли обезьяны определить их позже, когда увидят предметы с другой стороны. Во время обучения Логотетис тщательно следил за тем, чтобы животные видели каждый объект только под одним углом – ощущение глубины создавало лишь минимальное вращение вокруг вертикальной оси. Но было ли этого достаточно для инвариантного распознавания? Чтобы ответить на этот вопрос, Логотетис показывал макакам различные ракурсы объекта одновременно с другими отвлекающими фигурами.

Оказалось, что обезьяна не могла распознать предмет, когда он был представлен с отклонением от усвоенной ориентации на 40 градусов и более. Однако, если его поворачивали на 180 градусов, показатели распознавания резко возрастали. Аналогично вели себя и нейроны нижней височной коры: большинство клеток энергично срабатывали при предъявлении объекта в усвоенной ориентации, переставали реагировать, когда его поворачивали на 40 или 50 градусов, и вновь активировались при достижении угла 180 градусов. Почему именно 180 градусов? Если повернуть проволочный объект на 180 градусов, он будет выглядеть почти так же, как зеркальное отражение исходного объекта. Скрутите скрепку в букву «b», поверните ее на 180 градусов и получите «d».



**Рис. 7.4.** Усвоив определенную форму, зрительная система приматов обобщает результаты научения на ее зеркальное отражение. В этом эксперименте обезьяну научили распознавать проволочный объект, представленный под определенным углом. Затем ей показали тот же объект, но под разными ракурсами (верхний график). Животное распознавало его при предъявлении под усвоенным углом, а также при повороте на 180 градусов, что соответствовало зеркальному отражению исходного вида. После обучения нейроны реагировали как на первоначальную форму, так и на ее зеркальное отражение (нижний график) (по материалам статьи Logothetis, Pauls, & Poggio, 1995). *Используется с разрешения Oxford University Press.*

Вкратце, нейроны в нижней височной коре могут распознавать зеркальное отражение усвоенной фигуры, даже когда видят его впервые. Никакого дополнительного обучения для этого не требуется. Изучение нейронов, преимущественно реагирующих на лица, подтверждает этот вывод. Многие клетки одинаково активно срабатывают на два зеркально‑симметричных вида одного лица, например на левый и правый профили[[449]](#footnote-449). Удивительно, но такая инвариантность присутствует даже у новорожденных детенышей обезьян[[450]](#footnote-450). Что касается человека, то младенцы могут распознавать зеркальное отражение знакомого предмета уже в 4 месяца[[451]](#footnote-451). Похоже, все мы с рождения обладаем поразительной чувствительностью к подобной симметрии.

Исследования Логотетиса подчеркивают любопытный контраст между вращением и симметрией. Инвариантность относительно вращения, по всей видимости, не входит в число исходных возможностей нашей зрительной системы. Иными словами, чтобы распознавать объект под любым углом, мы должны знать, как он выглядит при повороте. Очевидно, на этой стадии наша зрительная система не обладает глубокими знаниями трехмерных форм и опирается на двумерные представления, которые видела ранее. Симметрия этому правилу не подчиняется.

Нейровизуализационные эксперименты с участием макак и людей показали удивительную чувствительность к симметрии, свойственную зрительной коре на ранней стадии. Представьте совокупность хаотично расставленных точек. При добавлении всего нескольких симметрично расположенных точек активность латеральных областей затылочно‑височной коры резко возрастает. Способность обнаруживать симметрию напрямую связана с повышенной активностью нейронов[[452]](#footnote-452). Хотя эволюция не готовила нас к такой задаче, эти точки резонируют в наших зрительных цепях, мгновенно срабатывающих при любом намеке на симметрию.

### Симметричные связи

На сегодняшний день геометрии нейронных связей, лежащих в основе восприятия симметрии, было посвящено не так много исследований. Возможно, Бил и Корбаллис правы, и ключ к восприятию симметрии – это мозолистое тело с его многочисленными симметричными связями, соединяющими два полушария. Однако в отсутствие точных данных нам не остается ничего другого, кроме как строить догадки, опираясь на разрозненные, но любопытные факты. Я уже рассказывал о новаторских экспериментах Павлова и Била на собаках и голубях. Оба вида с трудом различают пары зеркальных изображений. Голубь, например, легко усваивает разницу между вертикальными и горизонтальными палочками (– или |), но показывает плохие результаты, когда они поворачиваются на 45 градусов (/ или \). Как ни странно, рассечение мозолистого тела фактически *облегчает* задачу. Это свидетельствует о том, что межполушарные связи действительно вносят свой вклад в восприятие симметрии.

Но какую именно роль они играют? Другие эксперименты показывают, что перенос информации из одного полушария в другое через мозолистое тело переворачивает зрительное пространство по подобию перчатки. В результате левая и правая стороны меняются местами. В 1960‑х годах Нэнси Мелло из Гарварда опубликовала серию статей о чувстве симметрии у голубей[[453]](#footnote-453). Этим птицам присуща одна очень полезная анатомическая особенность: в отличие от млекопитающих, правый глаз голубя проецирует изображение исключительно на зрительные области левого полушария, а левый глаз – на зрительные области правого. Это означает, что если закрыть голубю один глаз, то визуальная информация будет поступать только в одно полушарие[[454]](#footnote-454).

Мелло научила голубей различать одним глазом два зрительных образа, например Λ и V или < и >. Птицы получали вознаграждение, если клевали определенную из фигур. Когда связь была установлена, Мелло решила выяснить, как она переносилась на другой глаз. Сюрприз! Голуби показывали хорошие результаты с вертикальной симметрией (Λ или V), но систематически терпели неудачу с симметрией «лево – право» (< или >). Голубь, обученный клевать форму <, видимую правым глазом, систематически клевал симметричную фигуру >, воспринимаемую левым глазом. Таким образом, усвоенная зрительная информация действительно передавалась из одного полушария в другое, но при этом левая и правая стороны менялись местами, как и предполагает модель Корбаллиса и Била.

Годом позже аналогичные эксперименты были проведены на животных, более близких к человеку, – макаках. Джон Нобл из Университетского колледжа Лондона сначала рассекал оптическую хиазму, чтобы каждый глаз проецировал только на противоположное полушарие, как у голубей. Затем он обучал животных различать два симметричных объекта одним глазом, после чего проверял обобщение на другой глаз. Нобл наблюдал то же, что и Мелло: загадочный перенос зеркальных изображений. Подобно голубям, обезьяны систематически выбирали зеркальное отражение фигуры, которой их обучали.

В ходе дальнейших экспериментов Нобл показал, что перенос зрительных знаний осуществляется либо через мозолистое тело, либо через другой пучок волокон, так называемую переднюю комиссуру. Зеркальный перенос исчезал, если оба пучка были рассечены, но сохранялся, если один из них оставался нетронутым. В одном эксперименте Нобл удалил межполушарные связи после периода обучения, но до проверки обобщения на другой глаз. Зеркальная инверсия наблюдалась по‑прежнему. Это наводит на мысль, что мозолистое тело было задействовано в период обучения, но не во время тестирования.

Нобл пришел к выводу, что у обезьяны каждый учебный эпизод сопровождается зеркальным научением в другом полушарии. Этот механизм мог бы объяснять особые трудности, которые животные и люди испытывают при различении левой и правой сторон. При бинокулярном зрении зеркальное научение гарантирует, что оба полушария получают как первичный зрительный сигнал, так и вторичное зеркальное отражение внешнего мира. Если наблюдаемая сцена симметрична, обе репрезентации идентичны и усиливают друг друга. Однако если сигналы асимметричны, например «b» и «d», два внутренних представления конкурируют друг с другом. Этот конфликт замедляет научение, даже если в итоге побеждает первичная репрезентация.

Если эти рассуждения верны, анатомией межполушарных связей управляет принцип симметрии. Иначе говоря, симметричные секторы зрительных областей должны быть связаны напрямую, проекциями один к одному. Так оно и есть[[455]](#footnote-455). Это является еще одним аргументом в пользу модели Корбаллиса и Била. Геометрия межполушарных связей так же безупречна, как крылья бабочки. Аксон нейрона, расположенного в левой зрительной коре, сначала идет перпендикулярно поверхности коры, после чего присоединяется к пучку волокон мозолистого тела. Достигнув противоположного полушария, он направляется к месту, точно симметричному исходной точке (рис. 7.5). Такие нейроны были обнаружены в первичной зрительной коре крыс и мышей, а также во вторичной зрительной области макак. Их функция неизвестна, но их геометрия идеально подходит для отзеркаливания зрительных сигналов, что существенно облегчает обнаружение симметричных объектов.

Если этими симметричными связями иногда пренебрегают, то только потому, что они составляют лишь небольшой процент контактов, соединяющих два полушария. Главный пучок межполушарных волокон не симметричен. Он служит для «сшивания» двух корковых репрезентаций зрительного мира и дает ответ на известную загадку: почему мы воспринимаем один целостный зрительный мир, когда объективно он разделен на две половины, которые кодируются разными полушариями (см. рис. 7.5)? Межполушарные связи играют важную роль в восстановлении функционального единства мира, несмотря на анатомическое разграничение. «Сшивающие» связи концентрируются в области разрыва (вертикальной срединной линии) и соединяют секторы левого и правого полушарий, кодирующие одинаковые зрительные локации.

Исследования Хайме Олаварриа и его коллег из Сиэтла позволили выявить конкуренцию, которая возникает в процессе развития между принципом зрительной целостности, реализуемым «сшивающими» связями, объединяющими два полушария, и принципом симметрии, требующим симметричных проекций большего масштаба[[456]](#footnote-456). Многочисленные симметричные связи, присутствующие при рождении, вероятно, заложены градиентами химического притяжения. Однако уже в первые дни жизни они подвергаются активному прунингу. Благодаря этому процессу «сшивающие» связи, обеспечивающие целостность зрительного поля, в конечном итоге преобладают.



**Рис. 7.5.** Целостность и зеркальная симметрия – основные принципы, управляющие архитектурой зрительных связей между двумя полушариями. Верхний рисунок иллюстрирует хорошо известный факт, что левая половина зрительного поля проецируется на правое полушарие, а правая половина – на левое, всего лишь с незначительным перекрытием в центре (по материалам статьи Olavarria & Hiroi, 2003). Если мы не воспринимаем никаких разрывов в зрительной сцене, то это потому, что межполушарные связи обеспечивают функциональную целостность зрительного поля, соединяя области коры, кодирующие одну и ту же точку. Эти «сшивающие» связи касаются только центральной области сетчатки и не являются симметричными. Существуют и другие межполушарные связи, которые соединяют симметричные точки зрительного поля даже на периферии. Вероятно, они играют особую роль в восприятии симметрии и зеркальном обобщении. На нижнем рисунке мы видим их безупречную геометрию: один нейрон в первичной зрительной коре крысы проецируется на симметричные области левого и правого полушарий (по материалам статьи Houzel, Carvalho, & Lent, 2002). *Использовано с разрешения Brazilian Journal of Medical and Biological Research*.

Как ни странно, прунинг происходит даже в отсутствие контакта с окружающей средой. Еще в то время, когда плод находится внутри утробы матери, спонтанные волны нейронной активности, проходящие через сетчатку, сообщают нейронам в левом и правом полушариях, что они кодируют одну и ту же ретинальную локацию. У крыс «сшивающие» связи формируются за несколько дней до того, как они впервые откроют глаза. Нарушение самопроизвольной активности сетчатки ведет к их дезорганизации. В этом случае сшивающие аксоны проигрывают гонку, и в мозге наблюдается избыток симметричных связей.

Я столь подробно остановился на этих биологических особенностях только потому, что все они могут играть важную роль в развитии дислексии. В частности, они предполагают, что сбои в процессе синаптического прунинга в последние месяцы беременности или первые месяцы жизни могут привести к переизбытку симметричных зрительных связей у ребенка. Не потому ли некоторым детям так трудно различать лево и право или букву «b» от «d»? Прежде чем подробно обсудить этот вопрос, давайте посмотрим, каким образом мозг проводит такие различия.

### Спящая симметрия

**Если бы наша зрительная система делала все симметричным, то мы бы постоянно совершали зеркальные ошибки – например, мы бы не могли отличить «р» от «q» и левый ботинок от правого.** К счастью, часть нашей зрительной системы сохраняет способность различать левую и правую стороны.

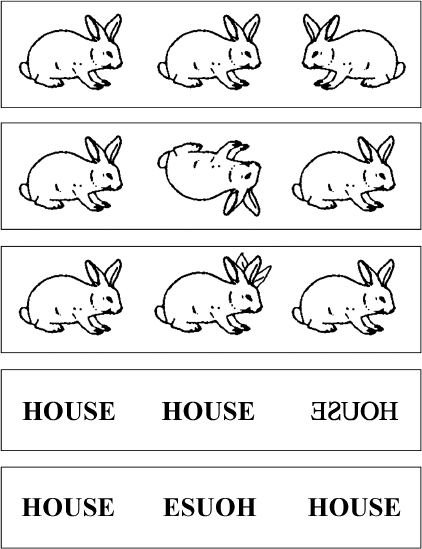
Как указывают ряд авторов[[457]](#footnote-457), наша зрительная кора разделена на два основных функциональных потока, как будто в нашем мозге существует две отдельных зрительных системы. Вентральный путь, о котором я говорил ранее, отвечает за инвариантное распознавание объектов. Он крайне чувствителен к характеру изображения, форме и цвету, но игнорирует размер и пространственную ориентацию – в том числе левое и правое. Второй зрительный путь – дорсальный – проходит через теменную кору и в первую очередь связан с пространством и действием. В этом маршруте цвет и точная природа объекта не так важны, как расстояние, положение, скорость и ориентация в пространстве. Все эти параметры помогают определить, как нам следует взаимодействовать с этим объектом. Дэвид Милнер и Мел Гудейл кратко подытоживают это фундаментальное различие: вентральному маршруту важно «что», дорсальному – «как».

«В начале было дело!» – утверждает Фауст Гете. Умению отличать левую сторону от правой мы, по всей вероятности, обязаны дорсальному пути. В детстве мы узнаем, что правой рукой рисуют и пишут. В римско‑католических семьях правой рукой крестятся. Система «как» должна уметь отличать правую сторону от левой, потому что эта информация имеет решающее значение для жестов. Мы выполняем разные движения, чтобы взять кастрюлю, ручка которой направлена влево или вправо от нас: дорсальный путь автоматически адаптирует наши действия к ориентации объекта, даже если вентральная система, которая нечувствительна к расположению, говорит нам, что в обоих случаях кастрюля одна и та же. Кроме того, именно дорсальная система позволяет нам представлять сугубо виртуальные жесты или движения. Мы полагаемся на нее всякий раз, когда мысленно поворачиваем объекты, читаем карту или пытаемся определить, что изображено на картинке: два отличных друг от друга объекта или один и тот же, но под разными углами.

Вкратце, наш мозг ведет себя так, как если бы в нем жили два маленьких человечка. Первый, которого я буду называть коллекционером, распознает и помечает объекты, но почти не обращает внимания на их расположение и ориентацию в пространстве. Второй, «рабочий», действует, сравнивает, манипулирует… но не может определять объекты, которые попадают ему в руки.

Обычно две зрительные системы взаимодействуют настолько тесно, что мы даже не подозреваем о таком внутреннем разделении труда. Оно становится явным только при некоторых повреждениях мозга. Шотландский исследователь Оливер Тернбулл обследовал десятки больных с различными травмами мозга, которые привели к диссоциации между двумя зрительными системами. Возьмем двух пациентов: Д. М., пережившего черепно‑мозговую травму, и Л. Дж., перенесшую множественные инсульты в правой височно‑теменной области[[458]](#footnote-458). Тернбулл показывал им изображения знакомых предметов, ориентированных в разных направлениях: перевернутый вертолет, стоящий вертикально кенгуру, лежащий телефон и так далее. Д. М. не мог их назвать, а Л. Дж. справлялась с задачей весьма неплохо. Когда их спрашивали, изображены ли предметы в правильной ориентации, происходило обратное: Д. М., который не узнавал объекты, отвечал безупречно, в то время как Л. Дж. систематически терпела неудачу. У Д. M. был поврежден вентральный путь «что», а у Л. Дж. больше не функционировал дорсальный путь «как».

Аналогичная диссоциация между идентичностью объекта и ориентацией наблюдается и у макак. Повреждения вентральной височной коры лишают животное способности различать такие простые фигуры, как круг и крест, но не оказывают никакого влияния на умение определять ориентацию (например, «6» и «9» или «b» и «d»). После повреждения дорсального теменного маршрута происходит обратное: животное, подобно маленькому ребенку, может отличить «а» от «b», но не «b» от «d»[[459]](#footnote-459).



**Рис. 7.6.** После повреждения мозга некоторые пациенты больше не могут различать зеркальные изображения. Чтобы исследовать их восприятие пространственной ориентации, Оливер Тернбулл и Розалин Маккарти (1996) разработали специальный тест: они предлагали испытуемым три почти одинаковых изображения и просили выбрать то, которое отличается от двух других. Пациент Р. Дж. систематически терпел неудачу, когда разница заключалась в направленности «лево – право» (верхний ряд), но преуспевал во всех других испытаниях, включая задания на ориентацию слов и букв (нижние ряды). *Используется с разрешения Neuropsychologia.*

Дорсальный путь «как» включает множество цепей, организацию которых мы только начинаем понимать. Одни области связаны с движениями кистей рук, другие – с программированием движений глаз, третьи – с кодированием разных типов пространственных отношений. Параметры расстояния, размера, количества, формы, движения и ориентации задействуют различные подобласти теменной коры, пересекающиеся лишь частично. Например, после повреждения правой теменной области многие пациенты частично теряют способность различать лево и право. Этот тип поражения обнажает дремлющую симметрию, вычисляемую вентральной затылочно‑височной системой «что».

Оливер Тернбулл и Розалин Маккарти описали один из первых случаев этого синдрома «зеркальной слепоты». Пациент Р. Дж. (61 год), у которого было диагностировано двустороннее поражение теменной области вследствие коронарного тромбоза[[460]](#footnote-460), настаивал, что не видит *никакой* разницы между объектом и его отражением. Если два изображения накладывали друг на друга, он признавал, что картинки совпадают не идеально, но как только их разделяли, он переставал их различать. «Я понимаю, что они должны быть разными, – говорил он, – но когда я смотрю на одну, а потом на другую, они кажутся мне абсолютно одинаковыми».

Чтобы изучить эту странную патологию, Тернбулл и Маккарти показывали Р. Дж. три почти идентичных изображения и просили выбрать одно лишнее. Р. Дж. с легкостью замечал даже незначительные изменения в идентичности объекта, например кролика с четырьмя ушами или перевернутого вниз головой. Но он не мог обнаружить кролика, смотрящего вправо, стоящего в одном в ряду сородичей, которые смотрели влево (рис. 7.6). С тех пор были зарегистрированы и другие случаи «зеркальной слепоты»[[461]](#footnote-461). Все эти пациенты были неспособны отличить объект от его зеркального отражения, будь то рисунки животных, инструменты или незнакомые проволочные объекты. Повреждение дорсально‑теменного пути лишило их информации о левой и правой сторонах, а здоровая вентральная зрительная система слепа к ориентации.

### Разбитое зеркало

Как ни странно, существует одно примечательное исключение в случае зеркальной слепоты, которое возвращает нас к сути предмета нашего исследования – к чтению. Во время чтения пациенты с зеркальной слепотой не испытывают никаких трудностей с различением левой и правой сторон. Всем им удается верно определить, как написаны буквы и слова: нормально или в зеркальном отражении. Они легко обнаруживают лишнее слово, причем даже тогда, когда перевернуты отдельные буквы (РАЗУМ – ), отражено все слово (УЛЫБКА – АКБЫЛУ) или и то, и другое (ЗРЕНИЕ – ). Все эти различия так же очевидны для них, как и для здоровых людей, хотя из‑за повреждения мозга они не видят *никакой* разницы между невербальными зеркальными формами, например  и .

Это наблюдение подтверждает, что чтение подчиняется особым правилам. У опытных читателей часть вентрального пути отучается обобщать зеркальные образы. На ранних стадиях формирования навыка чтения мы задействуем дорсальную систему, чтобы различать такие буквы, как «b» и «d». Только она может определить, куда «указывает» буква: влево или вправо. Вентральная система говорит нам, что оба изображения представляют одну и ту же форму. Постепенно она учится игнорировать симметрию. Она перестает рассматривать «b» и «d» как два вида одного объекта и «поручает» их отдельным популяциям нейронов, которые не обобщают зеркальные инверсии. Эти детекторы асимметричных букв служат отправными точками для извлечения подробной статистики о чтении, которая применима только к правильно ориентированным словам. В результате затылочно‑височная кора приобретает асимметричную нейрональную иерархию для зрительного распознавания слов. В отличие от соседних областей коры, участвующих в идентификации объектов и лиц и продолжающих обобщать лево‑правые инверсии, архитектура, отвечающая за чтение, не смешивает зеркальные отражения.

Подобный процесс нарушения симметрии, по всей вероятности, затрагивает только письменные знаки. Разумеется, он принесет пользу лишь в том случае, если ассиметрична сама система письма. А это не всегда так. Египетские иероглифы, например, писались в обоих направлениях: справа налево и слева направо. В последнем случае все символы были перевернуты. Направление чтения диктовали фигуры человека и животных: их головы всегда были повернуты к началу строки. То же самое можно сказать и о древнегреческом языке, для которого был характерен бустрофедон – способ письма, название которого буквально означает «как бык пашет»: одна строка писалась слева направо, а следующая – справа налево, в зеркальном отражении. Таким образом, ни египтянам, ни грекам было не нужно переучивать вентральную систему. На самом деле такая двунаправленная письменность никогда бы не была принята, если бы человеческая зрительная система не воспринимала формы  и  как идентичные. По сей день некоторые системы письменности не требуют нарушения симметрии. В частности, в китайском языке существует всего несколько зеркальных символов, сравнимых с нашими «b» и «d», например  и  или  и . Другие системы, например тамильское письмо, полагаются исключительно на такие изящные знаки, как ,  или , заведомо исключающие зеркальную путаницу. Подобные культурные различия приводят к снижению перцептивной компетенции: носители тамильского языка легко путают зеркальные отражения. Например, они уверены, что в фигуре  присутствует треугольник [[462]](#footnote-462).

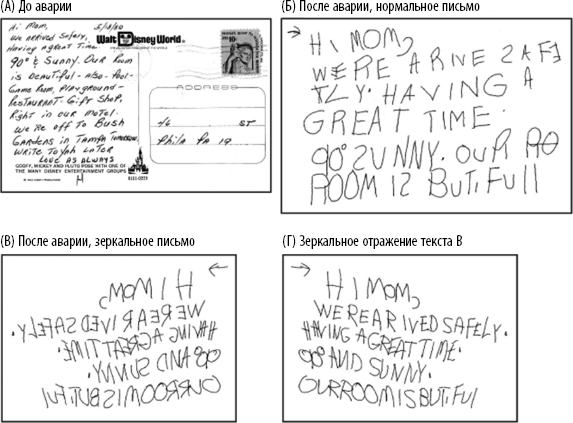
### Нарушенная симметрия… Или скрытая симметрия?

Что можно сказать о носителях европейских языков, которые читают латинский алфавит и могут отличить «b» от «d»? У них восприятие симметрии исчезает полностью? Пока неизвестно. На сегодняшний день мы не знаем, действительно ли наша зрительная система перестает обобщать зеркальные образы слов. Может, мы просто этого не осознаем? Сэмюэл Ортон полагал, что правое полушарие переворачивает буквы даже у опытного читателя. По мнению Ортона, обучение чтению сводилось к сосредоточению на правильной ориентации слов. Их зеркальное отражение, хотя и оставалось без внимания, все же присутствовало в недоминантном полушарии. Зеркало было не разбито, а просто спрятано.

Мысль о том, что нас бессознательно преследуют зеркальные отражения прочитанных слов, может быть не столь абсурдна, как кажется на первый взгляд. По всей вероятности, на начальных стадиях зрительного анализа буквы представляют собой бессмысленные фигуры, которые обрабатываются так же, как и любой другой визуальный образ. Если это так, в результате межполушарного переноса они должны переворачиваться по подобию перчатки. И действительно, столкнувшись с зеркальным отражением слова, мы можем расшифровывать его побуквенно. Хотя это требует определенных усилий, очевидно, что идентификация отдельных букв возможна даже в отсутствие доступа к более глубинной системе, позволяющей обрабатывать зрительную форму всего слова.

Многочисленные примеры из жизни свидетельствует о том, что **на моторном уровне все мы наделены дремлющими программами, адаптированными к зеркальному письму**. Попытайтесь написать какое‑нибудь слово в зеркальном отражении. Вероятно, вы потерпите неудачу. Теперь спрячьте лист бумаги под стол и попробуйте снова, как будто вы видите через столешницу. Вы увидите, что зеркальные жесты происходят совершенно естественно. Если вы снимете свою руку на видео и воспроизведете запись, то убедитесь, что она движется именно так, как нужно, чтобы писать справа налево. Аналогичным образом ваша правая рука может писать слева направо, а левая – справа налево. Одновременно. Писать зеркально обычно легче левой рукой (для правшей), что подтверждает гипотезу о положительной роли межполушарного переноса.

Наиболее убедительная поддержка дремлющей репрезентации зеркального чтения и письма наблюдается у больных с повреждениями мозга. Примерно у одного пациента с гемиплегией[[463]](#footnote-463) из 40 имеются временные признаки зеркального письма. Этот любопытный симптом возникает почти всегда, когда болезнь вынуждает правшу писать левой рукой. В большинстве случаев дефицит касается только письма, но не чтения: обычно пациент не может прочитать зеркальные слова, которые он написал. Однако в настоящее время известно несколько человек, у которых после травмы мозга развилось одновременно и зеркальное письмо, и зеркальное чтение.



**Рис. 7.7**. Некоторые пациенты с повреждениями головного мозга внезапно начинают читать и писать в зеркальном отражении. На рисунке показаны образцы письма пациентки Х. Н. до и после автомобильной аварии (по материалам статьи Gottfried, Sancar, & Chatterjee, 2003). *Используется с разрешения Neuropsychologia*

Таков, например, случай с миссис Х. Н., 52‑летней американкой, попавшей в автомобильную катастрофу[[464]](#footnote-464). После аварии миссис Х. Н. страдала умеренной невнимательностью, а также нарушениями памяти и способности планировать, связанными с двусторонним снижением метаболизма лобных долей. Но главная ее жалоба заключалась в том, что она больше не могла ни читать, ни писать. Однажды, когда женщина ехала на машине, она заметила дорожный знак, на котором было написано «ПОТС». Оказалось, ей гораздо легче читать и писать в зеркальном отражении. Это удивительное наблюдение было подтверждено лабораторными экспериментами. Независимо от того, какой рукой пользовалась миссис Х. Н., она совершала гораздо больше ошибок, когда писала слева направо, чем справа налево (рис. 7.7).

Что еще удивительнее, обычные слова миссис Х. Н. читала хуже и медленнее, чем их зеркальные отражения. Распознавание слова, написанного справа налево, занимало у нее одну секунду, что в целом соответствует норме. Однако когда оно было написано правильно, слева направо, на эту же самую задачу женщине требовалось более двух с половиной секунд, что медленнее нормы в четыре раза. То же касалось слов, мелькавших на мониторе компьютера. При предъявлении зеркально перевернутой буквенной цепочки на четверть секунды миссис Х. Н. без труда определяла, английское это слово или нет. Как вы можете убедиться сами, это очень быстро.[[465]](#footnote-465)



Как ни странно, когда слова были написаны правильно, слева направо, пациентка давала ответы наугад, причем даже в тех случаях, если длительность их предъявления составляла до половины секунды. Авария, в которую попала миссис Х. Н., повлекла за собой серьезные нарушения чтения и письма, а также обнажила дремлющую репрезентацию зеркальных отражений слов, о которой женщина даже не подозревала.

Случай миссис Х. Н. отнюдь не единичный. В неврологических журналах описано несколько таких пациентов. К сожалению, этого недостаточно, чтобы сделать окончательные выводы о лежащих в основе этого явления нейронных механизмах[[466]](#footnote-466). Повреждения мозга вследствие травмы головы часто размыты и плохо локализованы. Вероятно, для возникновения синдрома зеркального чтения необходима одновременная травматизация нескольких областей мозга. Было бы также преувеличением утверждать, что скорость чтения и написания слов в зеркальном отражении приближается к той, что характерна для здоровых людей. На самом деле, большинство пациентов, которым свойственно зеркальное письмо, пишут вкривь и вкось, а при чтении декодируют слова побуквенно, как дети.

Поведение миссис Х. Н. имело и другую интересную особенность: хотя в зеркальном отражении она читала относительно хорошо, такие иррегулярные слова, как



ставили ее в тупик. Очевидно, она могла читать только с помощью медленного маршрута «графема – фонема».

В целом наблюдения показывают, что пациенты с зеркальным чтением утратили часть системы, обычно отвечающей за чтение. Я предполагаю, что в таких случаях церебральные повреждения привели к уничтожению параллельных механизмов распознавания письменных слов. В результате расшифровка слова осуществляется за счет нетронутых детекторов букв. В мозге начитанного человека этот уровень, вероятно, единственный, который не разучился распознавать зеркальные отражения слов. То, что пациенты сохранили его, объясняет, почему они по‑прежнему могут читать перевернутые слова, даже если скорость их чтения ниже нормы, а ошибки регуляризации выдают стратегию побуквенного декодирования.

Эта гипотеза, однако, не объясняет, почему подавляющее большинство пациентов с повреждениями мозга, расшифровывающие слова буква за буквой, не обладают даром зеркального чтения. Необходим еще один ингредиент. Я подозреваю, что он связан со вторым дефицитом, а именно с неспособностью воспринимать пространственную организацию стимулов. У большинства пациентов, которым свойственно зеркальное чтение, наблюдаются нарушения пространственной ориентации. Так, один больной систематически путал лево и право и рисовал зеркальные карты Австралии и Великобритании[[467]](#footnote-467). Другая пациентка не могла вспомнить, как рисовать циферблат часов, и, казалось, утратила всякое представление о времени и числах: она утверждала, что четверг наступает после пятницы и что сначала ей исполнится 44, а через год после этого – 43![[468]](#footnote-468) Миссис Х. Н. не страдала явными пространственными нарушениями, зато испытывала выраженные трудности с планированием и поддержанием выбранной стратегии действий.

Подобные расстройства могут играть определенную роль в зеркальном чтении. Когда мы читаем, теменной и лобный отделы мозга выполняют важнейшие пространственные вычисления, задавая направление нашему взгляду, а затем посылая нисходящие сигналы внимания в зрительные области, чтобы те могли выбрать целевую зону. Я предполагаю, что повреждение одного из этих отделов может нарушить процесс чтения, изменив его вектор. В результате пациенты выбирают аномальные стратегии: они либо начинают с правой части слов, либо обращают внимание только на зеркальные репрезентации, дремлющие в мозге большинства из нас. Эта мысль чем‑то напоминает предположение Ортона, утверждавшего, что благодаря избирательному вниманию опытные читатели могут игнорировать репрезентации слов, которые ориентированы неправильно. Очевидно, пациенты с зеркальным чтением утратили этот базовый механизм пространственного внимания.

Даже если мы не можем полностью объяснить этот феномен, способность читать слова в зеркальном отражении помогает лучше понять скрытые аспекты чтения. «Зеркальный» читатель вполне может дремать в каждом из нас – но эта способность проявляется только тогда, когда ее приводят в действие множество определенных, но пока неизученных повреждений мозга.

### Симметрия, чтение и нейронный рециклинг

Подводя итоги этой главы, можно сказать следующее. Зрительные цепи детского мозга обладают многими свойствами, облегчающими чтение, и одним фактором, которое этому процессу препятствует. Таковым является обобщение зеркальных образов, характерное не только для человека, но и для обезьян и голубей. Именно оно объясняет, почему дети совершают зеркальные ошибки, когда учатся читать и писать. Они воспринимают буквы «b» и «d» как один и тот же объект, рассматриваемый под разными углами.

Чтобы научиться читать хорошо, человеку необходимо выйти за пределы зеркальной стадии. Иными словами, он должен «отучиться» от врожденной склонности обобщать зеркальные образы. Как это сделать? Способность различать лево и право, вероятно, берет начало в дорсальном зрительном пути, который программирует движения в пространстве. Обводя буквы, дети связывают каждую из них с определенным жестом. Постепенно это пространственное и моторное научение переносится на вентральный зрительный путь, отвечающий за распознавание объектов. Юные читатели учатся обращать внимание на ориентацию букв и видеть их как двумерные кривые, а не как трехмерные фигуры, которые могут вращаться в пространстве. Со временем они начинают выделять целые группы букв. Эта репрезентация биграмм, графем и морфем развивается исключительно в левом полушарии и только для букв, расположенных в правильном порядке – слева направо.

На этом этапе симметрия исчезает. Опытный читатель обладает обширными познаниями о статистике букв в нормальном письме, но по существу ничего не знает о зеркальном письме. Единственное, что осталось от его первоначальной компетенции – это дремлющая, бессознательная репрезентация зеркальных отражений букв, которая больше не используется системой чтения.

Тот факт, что нормальному ребенку требуется несколько месяцев, чтобы отучиться обобщать зеркальные образы, говорит в пользу гипотезы нейронного рециклинга. Если бы мозг был чистым листом, лишенным какой‑либо структуры, но способным впитывать любую информацию из окружающей его культурной среды, зеркальное чтение не имело бы смысла. Трудно представить, как мозг мог бы усвоить отраженные репрезентации, которые он никогда не видит в своем окружении и которые бесполезны для нормального чтения. Рециклинг, напротив, подразумевает, что области коры, которые переориентируются на другие функции, изначально наделены определенными структурными свойствами, приобретенными в ходе эволюции. Каждая область обладает собственным портфелем активов и пассивов, которые лишь частично перегруппируются в процессе научения. **Человеческая культура работает на базе существующих биологических предрасположенностей и должна находить способы, как их можно приспособить к новым функциям.**

### Удивительный случай зеркальной дислексии

Такой подход к чтению может пролить новый свет на проблему дислексии. Как я уже отмечал в главе 6, у большинства дислексиков дефициты чтения возникают из‑за базового нарушения в обработке звуков речи. Однако я также упомянул о том, что некоторые дети страдают нарушениями зрения. В этих случаях проблема может быть вызвана, по крайней мере частично, сбоем в восприятии симметрии.

Обычно считается, что дислексический ребенок не может не только читать, но и отличать левую сторону от правой. На самом деле ориентация букв действительно создает определенные трудности для многих детей с этим заболеванием, из‑за чего они часто путают «p» с «q» и «b» с «d»[[469]](#footnote-469). Однако с подобной проблемой сталкиваются все дети, а не только дислексики. Более того, она временна. Зеркальные ошибки достигают своего пика в возрасте от 7 до 10 лет, когда дети учатся распознавать буквы. Затем они исчезают. Как группа, дислексики не наделены даром зеркального чтения. Зрительные трудности, по‑видимому, не играют доминирующей роли у большинства из них[[470]](#footnote-470). Кратковременные нарушения зрения могут быть просто следствием базового фонологического дефицита: если я не могу понять разницу между фонемами [b] и [d], мне потребуется больше времени, чтобы осознать, что зеркальные формы «b» и «d» – это разные буквы. По чистой случайности зеркальные буквы даже произносятся похоже: все они относятся к взрывным согласным, которые продуцируются путем внезапной блокировки воздушного потока в голосовом тракте. Неудивительно, что подобное сочетание трудностей создает особые проблемы для детей с фонологическими нарушениями.

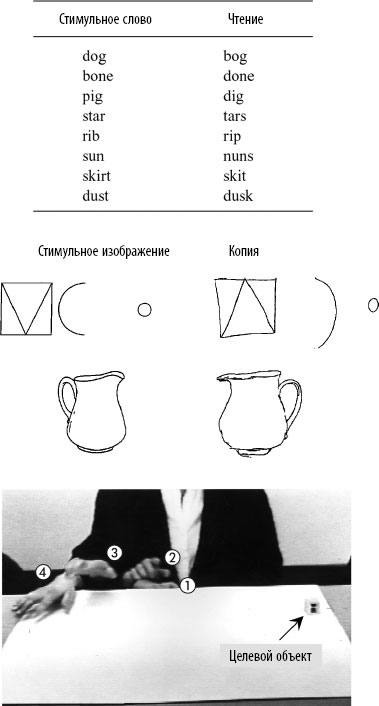
Тем не менее в редких случаях истинной причиной дислексии является неспособность различать лево и право. Яркий пример – случай молодой женщины, А. Х., которую тщательно обследовал американский психолог Майкл Макклоски[[471]](#footnote-471). Дислексия у А. Х. была диагностирована довольно поздно, когда ей было уже за 20. В то время она училась на факультете психологии Университета Джона Хопкинса. После одной из лекций о дислексии А. Х. призналась, что в детстве тоже мучилась с чтением и арифметикой. Макклоски предложил ей несколько когнитивных тестов. Оказалось, что эта одаренная студентка страдает редкой и очень любопытной формой дислексии.

Проблемы А. Х., по всей вероятности, были обусловлены пространственной путаницей на всех уровнях процесса чтения. Когда А. Х. читала отдельные буквы, ошибки преимущественно сводились к пространственным инверсиям. Например, она принимала букву «р» за «q», а букву «М» – за «w». Что интересно, она почти никогда не путала буквы, идентичность которых не зависела от ориентации в пространстве, например «g» или «k». Читая слова, А. Х. не только переворачивала отдельные буквы, но и нарушала их порядок (рис. 7.8): «snail» превращалось в «nails». Наконец, на уровне предложения она переставляла слова местами, особенно в тех случаях, когда их расположение не было жестко ограничено контекстом.

Вкратце можно сказать, что А. Х. жила в нестабильном зрительном мире, в котором пространственные отношения менялись постоянно. Буквы перепрыгивали с места на место, превращая одно слово в другое. Даже такое простое слово, как «brain» («мозг»), трансформировалось в набор всевозможных транспозиций и анаграмм вроде «drain» («канава») или «Brian» («Брайан» – имя). Разрешить эти двусмысленности А. Х. могла только с помощью контекста. Чтобы определить степень расстройства, Макклоски попросил ее прочесть несколько предложений, в которых буквы и слова были перепутаны, например: «The stock market is storngly affected dy dercebtions the the of pulbic». А. Х. не только с легкостью прочла все, но и исправила их. В конце она объявила, что 60 % предложений были совершенно нормальными! Прожив с этим дефицитом всю жизнь, она не осознавала нестабильности своего пространственного зрения.

Дефицит А. Х. распространялся не только на чтение. Она не могла правильно перерисовать даже самый простой рисунок – 50 % изображений были зеркальными копиями оригинала (рис. 7.8). Эта особенность проявилась у девушки еще в школе. Во время экскурсии в музей Филлипса в Вашингтоне она сделала набросок картины Ренуара «Завтрак гребцов», на которой художник изобразил молодых женщин и мужчин, кокетничающих в кафе на берегу Сены. Особый акцент А. Х. сделала на шляпах, но нарисовала их в зеркальном отражении: те, что были на левой стороне картины, на эскизе оказались справа, и наоборот.

Впрочем, это еще не самое удивительное. А. Х. «отзеркаливала» даже жесты! В ходе простого теста на хватание перед ней ставили деревянный кубик. Услышав сигнал, она должна была открыть глаза и схватить предмет как можно быстрее. Видеокамера, снимавшая эту сцену, запечатлела странное явление (рис. 7.8): в двух третях испытаний ее рука изначально тянулась в противоположную сторону! А. Х. так часто путала лево и право, что показанные ей результаты оказались хуже, чем при реагировании наугад. Как ни странно, неверным было только первоначальное направление движения; все остальные параметры – угол, расстояние и скорость – были оптимальными. Казалось, зрительная система А. Х. постоянно прыгает слева направо, будто некий злой дух заточил ее в Зазеркалье Алисы.



**Рис. 7.8. В редких случаях дислексия может быть вызвана избытком симметрии в зрительной системе.** Во время чтения молодая женщина А. Х. в основном путала обратимые буквы «b», «d», «p» и «q», реже – другие буквы и их порядок (вверху). А. Х. часто копировала рисунки в зеркальном отражении, особенно вдоль оси «лево – право» (посередине). В тесте на хватание (внизу) ее рука изначально тянулась в противоположном направлении (по материалам статьи McCloskey et al., 1995; McCloskey & Rapp, 2000). *Использовано с разрешения Journal of Memory and Language и Psychological Science.*

По счастливой случайности Майкл Макклоски и его коллеги все‑таки нашли способ, как помочь их необычной пациентке. Когда целевой объект двигался, мерцал или появлялся менее чем на одну десятую долю секунды, производительность А. Х. улучшалась. Так, при сверкании букв, слов или фраз со скоростью 10 циклов в секунду скорость ее чтения соответствовала нормальному уровню. Этот феномен по‑прежнему не имеет объяснения, так как он прямо противоречит общепринятому мнению, что дислексия есть следствие нарушения магноклеточного пути, обеспечивающего быструю зрительную обработку[[472]](#footnote-472). В случае А. Х. способ с мерцанием оказался настолько эффективным, что она начала читать под стробоскопическим светом!

Случай А. Х. настолько не согласуется со всей информацией, представленной в научной литературе о дислексии, что вызывает больше вопросов, чем дает ответов. Сколько детей с диагнозом «дислексия» на самом деле страдают первичным дефицитом пространственного восприятия? Поможет ли стробоскоп и другим дислексикам? А главное, какой механизм может объяснять таинственное зеркальное обращение визуального мира? В чем была истинная причина дефицита А. Х.? В раннем повреждении дорсального пути, который локализует объекты в пространстве и отличает левое от правого? В избытке зеркальных связей с мозолистым телом в вентральном пути? Или, может, в нарушенном механизме удаления синапсов, из‑за которого девушка оказалась наделена зрительной системой маленького ребенка, неспособной воспринимать разницу между словом и его зеркальным отражением? Визуализация мозга, несомненно, должна пролить некоторый свет на все эти вопросы.

Любопытный случай А. Х. напоминает нам, что зрительно‑пространственное внимание имеет первостепенное значение для нормального развития навыка чтения[[473]](#footnote-473). Хорошие способности декодирования возникают не только из ассоциаций между буквами и звуками речи – буквы должны быть восприняты в правильной ориентации и в корректном порядке слева направо. В мозге юного читателя вентральный зрительный путь, который распознает идентичность букв и слов, должен тесно взаимодействовать с дорсальным путем, который кодирует их положение в пространстве, а также программирует движения глаз и внимание. Когда один из них дает сбой, весь процесс чтения рушится.

Тот факт, что дорсальный и вентральный пути нуждаются в особой подготовке к чтению, объясняет успешность методов обучения, задействующих моторный аспект. В рамках программы, предложенной итальянским психологом Марией Монтессори, дошкольники прослеживают контуры букв, вырезанных из наждачной бумаги. Детей учат делать это слева направо, обращая пристальное внимание на порядок составляющих их штрихов. Эта деятельность позволяет объединить моторику, осязание, зрение и ощущение пространства. Формирование асимметричного маршрута, всегда идущего слева направо, безусловно, облегчает нарушение симметрии в вентральном зрительном пути. На самом деле французский психолог Эдуар Жентаз экспериментально доказал, что в работе со здоровыми детьми этот мультисенсорный метод более эффективен, нежели классический фонологический или визуальный тренинг по отдельности[[474]](#footnote-474).

Мультисенсорные эксперименты представляют собой совершенно новое направление исследований. Возможно, нейровизуализация покажет, что тактильный метод действительно улучшает функциональные связи, объединяющие дорсальный и вентральный пути. Пространственное и тактильное изучение букв должно помочь и тем детям, которые страдают дефицитами чтения зрительного происхождения. Не исключено, что метод сенсорного вмешательства сработает даже в случае А. Х. Я убежден: по мере развития науки о чтении мы не просто получим лучшее представление о том, как человеческий мозг овладевает чтением, но также сможем разработать более эффективные технологии обучения и реабилитации, максимально адаптированные к мозгу ребенка.

## 8

## Культура нейронов

Чтение открывает новые горизонты в понимании природы взаимодействия между культурным научением и мозгом. Модель нейронного рециклинга должна распространяться и на другие культурные изобретения, кроме чтения. Математика, искусство, религия – все это может быть истолковано как условные конструкции, приспособившиеся к нашему мозгу приматов за тысячелетия развития цивилизации. До сих пор, однако, не решен один ключевой вопрос: почему люди – единственный вид, создавший культуру и, следовательно, придумавший новые способы использования своих нейронных сетей? Я предполагаю, что именно увеличение «сознательного нейронного рабочего пространства», обширной системы корковых связей, позволяет переориентировать ментальные объекты на новые задачи.

Когда было провозглашено, что Библиотека объемлет все книги, первым ощущением была безудержная радость. Каждый чувствовал себя владельцем тайного и нетронутого сокровища.

ХОРХЕ ЛУИС БОРХЕС, «ВАВИЛОНСКАЯ БИБЛИОТЕКА»[[475]](#footnote-475)

Если бы Бог существовал, он был бы библиотекой.

УМБЕРТО ЭКО (ИТАЛЬЯНСКИЙ ФИЛОСОФ И ПИСАТЕЛЬ, 1932–2016)

Итак, мы близимся к концу нашего путешествия по мозгу читателя. Теперь уже очевидно, что **умением читать мы обязаны исключительно счастливой случайности**. Если книги и библиотеки сыграли доминирующую роль в культурной эволюции нашего вида, то это потому, что пластичность мозга позволила нам трансформировать зрительную систему приматов в речевой инструмент. Изобретение чтения привело к мутации наших мозговых цепей и их превращению в считывающее устройство. Мы обрели новую, почти магическую способность «слушать мертвых глазами». Именно о ней говорит Франсиско де Кеведо в своем сонете: «Моим очам усопших речь внятна, я с мертвыми беседую душою». Однако чтение стало возможным только потому, что мы унаследовали корковые области, которые могли научиться связывать визуальные знаки с речевыми звуками и смыслом.

Вероятно, не стоит удивляться тому, что наши мозговые цепи не оказались идеально приспособленными к чтению. Низкое визуальное разрешение, крутая кривая научения и раздражающая склонность к зеркальной симметрии – таковы отголоски нашего эволюционного прошлого. К сожалению, эволюция не предполагала, что наши нейронные сети однажды будут переориентированы на распознавание слов. Тем не менее даже такое несовершенное устройство мозга не помешало поколениям писцов, начиная с Древнего Шумера, искать способы воспользоваться этими сетями. Они разработали эффективные системы письменности и веками совершенствовали их – все ради того, чтобы сегодня буквы на этой странице могли говорить с вашим мозгом.

### Парадокс чтения

В начале этой книги я сформулировал ключевой вопрос: каким образом письмо могло зародиться в мозге, который изначально не был предназначен для этого навыка? Как человек – примат с неизменным геномом – превратился в книголюба? Эту загадку я назвал парадоксом чтения. Мрак, окутывающий эту тайну, только сгустился, когда мы обнаружили, что хотя чтение существует всего несколько тысяч лет, но мозг всех грамотных взрослых оснащен тонко настроенным механизмом для чтения.

Теперь мы знаем, что никакого парадокса нет. Человеческий мозг не развивался специально для чтения. Биологическая эволюция слепа, и никакой божественный архитектор не программировал нас с тем, чтобы однажды мы могли прочесть его книгу! Единственное развитие прошла сама культура – чтение постепенно приобрело форму, оптимально приспособленную к устройству наших нейронных сетей. Спустя столетия проб и ошибок системы письменности всего мира пришли к схожим решениям. Все они опираются на набор форм, которые достаточно просты, чтобы мы могли хранить их в вентральной зрительной системе, и связаны с речевыми центрами. Культурная эволюция столь точно отрегулировала наши системы письма, что теперь им требуется всего несколько лет, чтобы захватить нейронные цепи любого начинающего читателя. Я ввел понятие «нейронный рециклинг», чтобы описать частичное или полное вторжение письма в области коры, которые изначально отвечали за другую функцию.

Поскольку я убежден, что детали имеют значение, мы подробно рассмотрели, как работают нейронные цепи, отвечающие за чтение. Надеюсь, читатель простит мне мою многословность: я хотел как можно точнее проиллюстрировать два важнейших аспекта функционирования мозга. Прежде всего, я стремился показать, что культурное развитие не опирается на общие механизмы научения – оно закреплено за конкретными предсуществующими нейронными цепями, функция которых четко определена. В случае чтения мы имеем достаточно точное представление об устройстве этих цепей. Сегодня мы знаем, что они принадлежат к зрительным путям, отвечающим за инвариантное распознавание объектов и присутствующим у всех приматов. Их богатая внутренняя структура и частичная способность к усвоению новых форм ограничивают диапазон доступных нам систем письменности.

Моя вторая мысль, вытекающая из первой, состоит в том, что человеческие культуры не отличаются бесконечным многообразием и произвольной изобретательностью, которые постулируют социологи. Структура мозга строго контролирует культурные модели. Человеческая способность к изобретательству не бесконечна – она ограничена нашим нейрональным «конструктором». Если нашим культурам свойственна видимость огромного разнообразия, то это потому, что из множества комбинаций ограниченного набора фундаментальных культурных черт может возникать показательное число культурных форм.

В случае с чтением гипотетические культурные инварианты конкретны и осязаемы. Все системы письменности – от китайских иероглифов до латинского алфавита – основаны на морфофонологическом принципе: они одновременно представляют и корни слов, и фонологические структуры. Они также опираются на небольшой набор зрительных форм, распространенных по всему миру и впервые обнаруженных Марком Чангизи (см. главу 4). Иными словами, в основе кажущегося разнообразия систем письменности лежит широкий спектр универсальных, неврологически обусловленных особенностей.

### Универсальность культурных форм

В заключительной главе я хотел бы привести несколько аргументов в пользу следующей гипотезы: чтение – лишь один из примеров сдерживающего влияния, которое оказывает на культуру наша нейронная архитектура. Если мы распространим модель нейронного рециклинга на другие виды человеческой деятельности, то наверняка сможем связать их с соответствующими мозговыми механизмами. Связь такого рода позволила бы нам выявить нейронные ограничения, определяющие диапазон возможных культурных изобретений. В настоящее время эта перспектива кажется весьма отдаленной, но когда‑нибудь мы сможем составить перечень ключевых составляющих всей человеческой культуры (включая семью, общество, религию, музыку, искусство и так далее) и понять, как каждая из них соотносится с широчайшим кругом возможностей нашего мозга.

Я с нетерпением жду расцвета такой «культуры нейронов», фундамент которой был заложен еще 30 лет назад французским нейробиологом Жан‑Пьером Шанже[[476]](#footnote-476). Сегодня точное описание различных измерений человеческой цивилизации находится в пределах нашей досягаемости. Каждая культурная особенность, с этой «нейроантропологической» точки зрения, в конечном счете будет связана с четко определенными нейронными цепями. Их совокупные комбинации которых множественные формы, которые могут принимать культурные репрезентации. Разумеется, я вовсе не выступаю за прямое и наивное сведение культурных обычаев к одному‑единственному гену, молекуле или категории нейронов. Как и в случае с чтением, связь культурных конструкций с определенными мозговыми сетями должна быть описана соответствующими законами. Они должны внедрять, а не исключать принципы человеческой психологии. Они также должны включать в себя исторические, политические и экономические факторы, которые значительно повлияли на человеческие общества.

Подобная задача может показаться чересчур сложной, но не я один верю, что это возможно. Многие мои коллеги высказывали подобные аргументы в пользу единства знаний (или «непротиворечивости»[[477]](#footnote-477)) между гуманитарными дисциплинами, психологией и науками о мозге. Лингвист Ноам Хомский одним из первых обозначил границы культурного релятивизма:

[Согласно общепринятой точке зрения], именно богатство и специфичность инстинктов животных объясняют их прекрасные достижения в одних областях и отсутствие способностей в других, в то время как люди, лишенные столь выраженной инстинктивной структуры, вольны мыслить, говорить, совершать открытия и познавать мир без всяких ограничений. И сама логика проблемы, и то, что мы сейчас только‑только начинаем ее понимать, наводят на мысль, что это некорректный способ определять положение человека в животном мире[[478]](#footnote-478).

За несколько лет до этого, в 1974 году, французский антрополог Дэн Спербер заметил, что «накопленные этнографические данные свидетельствуют не столько в пользу неопределенной изменчивости, сколько в пользу чрезвычайно искусных вариаций в пределах, казалось бы, произвольно ограниченного множества»[[479]](#footnote-479). Гипотеза о том, что культурное многообразие скрывает определенный набор универсальных ментальных структур, впервые была выдвинута основателем структурной антропологии Клодом Леви‑Строссом. В последнее время его теорию в значительной степени подтвердили исследования когнитивного антрополога Дональда Брауна. В своей книге «Human Universals»[[480]](#footnote-480) Браун приводит список из 400 признаков, общих для всех культур. Эти универсальные черты варьируются от использования цветовых и числовых терминов до территориальности, мимики, музыкального творчества, игр, правовых систем и многого другого.

Каковы же истоки этих основополагающих культурных особенностей? Спербер считает, что они происходят из фундаментально модульной структуры человеческого сознания[[481]](#footnote-481). Развивая гипотезу Джерри Фодора[[482]](#footnote-482), Спербер рассматривает сознание как совокупность специализированных «модулей», возникших в ответ на необходимость развития определенной сферы компетенции. По его мнению, каждый модуль начинает свое существование с узкой области применения, которая ограничена ситуацией, спровоцировавшей его эволюцию. Эта зона, однако, может расширяться и охватывать более широкий диапазон входных данных, тем самым оставляя место для культурного изобретения совершенно новых триггерных стимулов.

Хороший пример – распознавание лиц. Соответствующая зрительная компетенция развивается у всех людей еще в младенчестве. Она связана со специализированной зрительной областью, которую некоторые называют модулем лица[[483]](#footnote-483). «Надлежащая» сфера этого модуля, или информация, которую он обрабатывает согласно своей биологической функции, предположительно включает только человеческие лица – модуль специально развился для этого набора стимулов, так как его наличие давало нам эволюционное преимущество. Однако наше устройство для распознавания лиц реагирует не только на лица, но и на такие объекты, как статуи, фотографии, «лик» Иисуса Христа в проталинах на снегу, «лицо» на поверхности Марса (на самом деле это тень от горы), смайлики и другие эмотиконы (☺). Согласно теории Спербера все эти стимулы, естественные и искусственные, принадлежат «фактической» области модуля, то есть минимальным импульсам, которые удовлетворяют входным требованиям гипотетического модуля лица.

По мнению Спербера, именно несоответствие между «фактической» и «надлежащей» областями наших ментальных модулей обеспечивает место для изобретательности и эксплуатируется человеческими культурами. Люди изобретают различные культурные объекты, чтобы привлечь внимание своих собратьев. Их единственная цель – возбудить мозговые модули самым неожиданным и привлекательным образом. Универсальная склонность создавать портреты, статуи, карикатуры, маски, грим и татуировки, вероятно, является продуктом некой разновидности культурной игры, которая происходит на границах нашего модуля распознавания лиц. Эти культурные объекты не всегда имитируют человеческое лицо – они преувеличивают его черты, превращая их в то, что этнологи называют суперстимулом. Он активирует модуль лица сильнее, чем реальный облик человека. Превратившись в суперстимул, культурное изобретение повышает свою репродуктивную эффективность и может распространяться по всей популяции подобно ментальной эпидемии.

### Нейронный рециклинг и мозговые модули

Концепцию Дэна Спербера о надлежащих и фактических областях и мою гипотезу нейронного рециклинга связывают очевидное сродство и даже некоторая взаимодополняемость. Обе теории стремятся объяснить, как культурный объект, который не был предвиден эволюцией, находит свое место в архитектуре нашего мозга. Очевидно, это возможно только в том случае, если он относится к числу поддающихся усвоению ментальных форм, определяемых условиями нормальной работы наших корковых цепей.

Мое единственное замечание относительно позиции Спербера состоит в том, что он склонен недооценивать роль пластичности мозга и процесса научения в истоках культурных универсалий. Спербер описывает все модули как своеобразные машины для приобретения новых знаний, однако подчеркивает, что они способны учиться лишь в пределах относительно ограниченной сферы. И действительно, их жесткость играет существенную роль в его рассуждении об универсальных особенностях человеческих культур: **гипотетически все мужчины и женщины обладают одним и тем же фиксированным набором врожденных модулей, заданным человеческой эволюцией.**

Видение культуры, вытекающее из теории Спербера, может показаться упрощенным. Если следовать этой логике, любая человеческая культура – это лишь набор хитроумных способов стимуляции уже имеющихся мозговых модулей. Но чтение возникло не просто благодаря возбуждению нашей зрительной системы. Письменность создала условия для настоящей «культурной революции», радикально расширив наши познавательные способности. Воздействие чтения на мозг ребенка в том возрасте, когда он наиболее пластичен, вызывает масштабную переориентацию человеческой когнитивной деятельности, выходящую далеко за рамки простого перенаправления входных сигналов одного модуля.

Лично мне не очень импонирует понятие модуля. Этот термин предполагает закрепление когнитивных функций за фиксированными клетками, предположительно устилающими поверхность нашего мозга. В реальности кора гораздо изменчивее и пластичнее. Жан‑Пьер Шанже указывал на процесс активного формирования синапсов, который протекает в первые годы жизни и порождает разнообразие и избыточность в коре ребенка. Хотя при рождении мозговые цепи уже организованы, они не посвящены некой строго определенной сфере – скорее, они просто предрасположены к ее быстрому и эффективному освоению. Благодаря многочисленным связям, мозговые цепи, которые развились под избирательным давлением конкретного когнитивного ограничения, могут быть перепрофилированы для выполнения самых разных функций.

Этот механизм нейронного рециклинга значительно расширяет охват модульной гипотезы Спербера. Контуры наших мозговых процессоров отнюдь не фиксированы и содержат элемент пластичности. Их функция может меняться, особенно в культурах, предполагающих интенсивное обучение и взаимодействие с культурными объектами с самого раннего возраста. Именно пластичность обеспечивает культурное многообразие, выходящее за рамки фиксированного списка модулей. Более того, такие революционные изобретения, как Интернет или компьютерная мышь, свидетельствуют о том, что мы, вероятно, еще очень далеки от раскрытия всего нашего мозгового потенциала.

Наконец, необходимо признать, что скорость и легкость, с которой появляются культурные изобретения, сильно варьируется. По всей вероятности, это зависит от объема изменений коры, необходимого для их освоения. Все объекты мышления по определению принадлежат к числу познаваемых репрезентаций, которые могут вместить наши мозговые цепи. Однако некоторые требуют более масштабных трансформаций, чем другие. В то время как лица, татуировки и маски широко распространены в культурах по всему миру, чтение, математика и музыка являются недавними изобретениями разной сложности и распространения. Интенсивное раннее обучение указывает на степень синаптической реорганизации, необходимой для их усвоения. Доступность этих культурных объектов не одинакова – нашему мозгу, возможно, придется пройти ряд промежуточных ступеней на культурной лестнице, прежде чем появятся специфические корковые ниши.

### Перечень культурных инвариантов

На сегодняшний день изучению наиболее значимых сфер человеческой культуры, таких как музыка, религия, искусство, математика и наука, посвящено сразу несколько исследовательских программ. Их цель – идентифицировать мозговые цепи, ассоциированные с этими изобретениями, а также выявить возможных филогенетических и эпигенетических предшественников. Как показывает беглый обзор, в некоторых областях уже достигнут значительный прогресс.

###### Естественные науки

Все культуры проявляют особый интерес к классификации растений и животных[[484]](#footnote-484). Скотт Атран и Дэн Спербер связывают это увлечение с гипотетическим модулем «народной биологии», который специализируется на приобретении знаний о живых существах. Он может играть ключевую роль в выживании вида, влияя на модели его пищевого поведения, здоровье и общую адаптацию к окружающей среде. Психология развития, нейровизуализация и нейропсихология уже позволили выявить конкретные области, отвечающие за познание растений и животных. Эта специализация возникает в младенчестве и уничтожается в результате определенных повреждений мозга[[485]](#footnote-485).

###### Математика

Механизм, посредством которого простые математические объекты закрепляются в мозге, исследовали многие лаборатории, включая и мою[[486]](#footnote-486). Все культуры разделяют минимальный набор абстрактных математических понятий, присутствующих как в арифметике, так и в геометрии. Эти представления возникают в раннем детстве, даже в отсутствие какого‑либо формального обучения. Самый яркий пример – понятие числа. Даже необразованный амазонский ребенок, в чьем языке нет специальных слов для чисел больше пяти, понимает разницу между 20 и 40 точками, может упорядочить их и даже произвести приблизительные операции сложения и вычитания[[487]](#footnote-487). Эта врожденная склонность к элементарной арифметике реализуется теменными долями обоих полушарий. Область, чувствительная к количеству, обнаруживается у любого младенца, ребенка или взрослого[[488]](#footnote-488). Более того, сегодня мы знаем, что даже мозг макаки содержит нейроны, настроенные на определенное количество объектов. Место, в котором локализованы эти клетки, представляется четким гомологом[[489]](#footnote-489) теменной области человека, активной во время мысленных вычислений[[490]](#footnote-490). Забавно, что теория чисел, которую часто считают вершиной «чистой» математики, на самом деле уходит своими корнями в умение животных отслеживать пищу и других зверей – две очень ценные функции для выживания в животном мире.

Исследования чисел и мозга показывают, что математика опирается на базовые и универсальные способности человеческого разума. В ее основе лежат структурированные ментальные представления пространства, времени и чисел, которые мы приобрели в ходе нашего эволюционного прошлого и которые мы учимся рекомбинировать новыми способами с помощью письменных и устных символов.

###### Искусство

Все культуры генерируют произведения искусства, дорогие декоративные изделия, практическое применение которых далеко не очевидно. В своих книгах, а также в курсе по нейроэстестике, который он читал в Коллеж де Франс (2003–2005), Жан‑Пьер Шанже предлагает нейробиологическую оценку форм искусства, в частности живописи и музыки[[491]](#footnote-491). Будучи «синтезом множественных эволюций», наш мозг содержит обширный набор ментальных репрезентаций, объясняющих сложные эмоциональные реакции на произведение искусства. На уровне нейронов картина разбивается на множество частей, которые затем передаются в различные области мозга. Каждая из них обрабатывает один из атрибутов картины: цвет, текстуру, лица, руки, эмоциональное наполнение. **Произведение искусства, синхронно стимулирующее множество церебральных процессоров новым и гармоничным образом, мы называем шедевром.**

Аналогичные идеи были высказаны и американским неврологом Вильянуром Рамачандраном. Он считает, что «цель искусства… не просто изобразить или репрезентировать реальность… но усилить, превзойти, даже *исказить*… и приумножить ее с тем, чтобы сильнее активировать нейронные механизмы, которые были бы возбуждены первоначальным объектом»[[492]](#footnote-492). Для британского нейрофизиолога Семира Зеки «художники – это в некотором смысле неврологи, изучающие мозг с помощью собственных уникальных методов»[[493]](#footnote-493). Зеки полагает, что формы искусства могут быть связаны с различными церебральными контурами: фовизм стимулирует цветовую область нашего мозга, кинетическое искусство раздвигает границы области движения и так далее. Кроме того, за творчеством талантливых художников скрывается огромное количество интерпретаций, снова и снова возбуждающих интерес зрителя.[[494]](#footnote-494)

Шанже идет еще дальше. Он считает, что простой стимуляции нескольких систем мозга недостаточно для создания подлинной формы искусства. Самые почитаемые произведения искусства – это не просто «суперстимулы», которые завораживают зрителя гипнотическим движением или кричащими цветами, хотя это описание превосходно отражает суть некоторых тенденций современного искусства! Прежде всего шедевр должен излучать гармонию. Нейронные основы ощущения согласованности между отдельными частями и большим целым – *consensus partium,* который Шанже помещает в основу художественного творчества, – начали изучать не так давно[[495]](#footnote-495). В музыке понятие гармонии имеет строго физическое определение. Базовая чувствительность к музыкальным интервалам октав и квинт является культурной универсалией, присутствующей даже у младенцев. По всей вероятности, эта особенность возникает на уровне первичной слуховой области, где консонансные аккорды вызывают согласованную и синхронную нейронную активность, а диссонансные – пульсирующие ритмы. Можно ли таким же образом объяснить гармонию в живописи или скульптуре – с помощью некой фазовой синхронии в многочисленных областях мозга? В настоящее время у нас нет однозначного ответа на этот вопрос, так как нейроэстетика еще молодая[[496]](#footnote-496)[[497]](#footnote-497) и противоречивая область нейронауки.

###### Религия

Еще более спорный вопрос заключается в том, может ли нейронаука пролить свет на универсальную склонность человека к религии. Можно ли проследить религиозное мышление до его предполагаемых эволюционных и нейробиологических корней? Три книги[[498]](#footnote-498), недавно изданные по этой теме, выдвигают когнитивные и даже «нейротеологические» объяснения универсальности религии и ее тысячелетней стабильности.

Дэниел Деннет развивает оригинальное меметическое объяснение Ричарда Докинза. Наша способность к культурной передаче через язык и имитацию, утверждает он, неизбежно ведет к появлению паразитических ментальных репрезентаций, называемых мемами. Эти ментальные объекты не обязательно должны приносить пользу своим хозяевам – единственное требование состоит в том, чтобы они служили эффективными «репликаторами», облегчающими передачу информации от одного разума к другому. Религии есть не что иное, как самовоспроизводящиеся совокупности ментальных представлений с одной характерной особенностью: само их содержание диктует верующим, что было бы святотатством не придерживаться их слепо и не популяризировать преданно и усердно.

Паскаль Бойе более глубоко исследует когнитивные основы, объясняющие легкость распространения религиозных идей. Как и Спербер, он предполагает, что эти «психические эпидемии» находят отклик в предсуществующих ментальных модулях нашего мозга. Религия – это своего рода паразит, который едет на когнитивных модулях, предназначенных для социального интеллекта, морального чувства и причинного вывода. Именно эти модули заставляют нас определять причинный фактор, когда мы видим, что объекты движутся целенаправленным образом. В сущности, говорит Бойе, **мы заранее запрограммированы на то, чтобы обнаруживать всемогущий замысел, намерение и мораль в своем окружении**.

Скотт Атран пытается объяснить человеческое влечение к сверхъестественному. С его точки зрения, необъяснимые существа, такие как невидимые предки, мыслящие деревья, живые мертвецы, злонамеренные предметы или зачарованные леса, представляют собой уникальную комбинацию свойств, делающую их чрезвычайно привлекательными. С одной стороны, они распадаются на врожденные ментальные категории, с помощью которых мы анализируем естественный мир (места, предметы, животные, люди), а с другой – нарушают некоторые из базовых правил этих классов. Магнетическое притяжение, вызываемое подобным несоответствием, объясняет, почему мы находим эти воображаемые понятия столь заманчивыми. Все они являются высокоэффективными суперстимулами для мозга как детей, так и взрослых. Подобно Янусу, двуликому римскому богу, одно лицо позволяет им проникнуть в наши ментальные модули, а другое – завладеть нашим вниманием и памятью. Подобно тому, как кинетическое искусство завораживает нас, стимулируя область движения, мысли о сверхъестественном представляют собой гипнотизирующие приманки для областей мозга, кодирующих места, объекты, животных и людей.

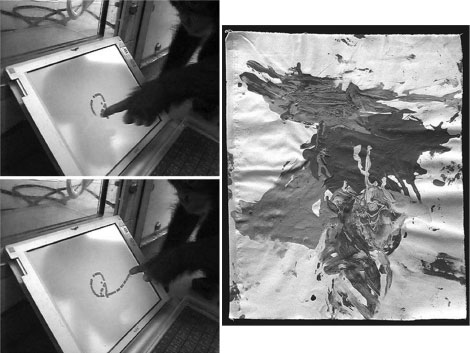
Хотя все эти эволюционные объяснения кажутся верными, они не учитывают сложности социальных и культурных явлений, которые стремятся объяснить. Я могу только похвалить попытки связать тайны искусства и религии со стандартными когнитивными феноменами, которые могут быть изучены с помощью психологических и нейровизуализационных инструментов. Однако они всегда напоминают мне истории Редьярда Киплинга из сборника «Просто сказки»[[499]](#footnote-499) о том, как верблюд получил свой горб или леопард – свои пятна. Теории искусства и религии, как и рассказы Киплинга, опираются на спекулятивные механизмы, которые в настоящее время остаются в значительной степени оторванными от объективных экспериментов. Что касается чтения, то лежащие в его основе нейронные механизмы, напротив, легко поддаются препарированию. Хотя это высокоуровневое и исключительно человеческое изобретение, оно связано с уже идентифицированными и воспроизводимыми нейронными цепями. Я с нетерпением жду, когда будущие экспериментальные достижения приведут нейроэстетику и нейротеологию к тому же уровню научной строгости.

### Почему человек – единственный культурный вид на планете

Гипотеза о том, что все основные особенности человеческой культуры связаны с определенными мозговыми модулями или процессорами, приобретенными нами в ходе нашего эволюционного прошлого, наталкивается на одно серьезное возражение. Если мы разделяем большинство этих процессоров с другими приматами, почему *Homo sapiens* – единственный вид, который породил развитые культуры?

Несмотря на недавние дискуссии о степени, в которой культура свойственна другим животным, *Homo sapiens* – поистине уникальный вид. Десятилетия терпеливых этологических[[500]](#footnote-500) наблюдений позволили выявить лишь 39 подлинных «культурных» признаков у наших ближайших родственников – шимпанзе. Культура определяется как поведение, которое варьируется в разных группах животных одного вида, передается из поколения в поколение и не является простым следствием вариаций в локальной среде[[501]](#footnote-501). Сторонники теории о наличии культуры у шимпанзе торжествующе причисляют к подобным признакам тот факт, что шимпанзе из Махали (Танзания) ковыряют в носу палкой или что хлопки в ладоши для привлечения внимания другого примата используются в четырех из семи африканских местообитаний. Я не отрицаю важности этих наблюдений – они выступают мерилом уникальности человеческого вида и пытаются связать ее с классическими механизмами бессознательного подражания и социального переноса. Однако скудость животных культур и бедность их содержания резко контрастируют с неисчерпаемым перечнем традиций, которые даже самая маленькая человеческая группа развивает самопроизвольно.

Особенно поучителен случай с графическим искусством. Не существует почти ни одного человеческого общества, которое не практиковало бы ту или иную форму рисунка или гравюры, будь то на камне, в грязи или на человеческом теле. Этими видами искусства прекрасно владели наши предки еще в эпоху верхнего палеолита, о чем свидетельствуют, например, наскальные рисунки в пещере Шове (возраст – 32 000 лет). Во многих культурах, в том числе у инуитов и индейцев, рисунки быстро приобрели символическое значение и зачастую использовались для обозначения количества чего‑либо. Полноценная письменность появилась за 3000 лет до наступления новой эры как минимум в четырех разных местах (Шумер, Египет, Китай и Мезоамерика). Тем не менее ни один вид обезьян, включая человекообразных, не создал ни единой подлинной системы символов.



**Рис. 8.1.** У приматов графические способности минимальны. Шимпанзе в возрасте 13 месяцев научился управлять графическим планшетом и рисовать элементарные кривые, но так и не развил способности передавать идеи через рисунок (слева; по материалам статьи Tanaka, Tomonaga, & Matsuzawa, 2003). «Композиция» справа создана взрослым шимпанзе, который жил практически независимо в лесном заповеднике Мефу (Камерун) (©Canadian Ape Alliance). *Использовано с разрешения Animal Cognition*.

Удивительное отсутствие графических изобретений у приматов, за исключением человека, не связано с каким‑либо тривиальным зрительным или моторным ограничением. Если посадить годовалого шимпанзе перед графическим планшетом, он будет рисовать точки, линии и кривые[[502]](#footnote-502). Как отмечал японский исследователь Тецуро Мацузава, шимпанзе «по всей видимости, обладают внутренней мотивацией к рисованию». Если планшет запрограммирован так, что экран остается чистым, обезьяны перестают им пользоваться. Последнее наводит на мысль, что «видимые следы имеют некоторую подкрепляющую ценность для испытуемых». Если это так, почему когда мы даем шимпанзе карандаши и краски, то максимум, на что они способны – нарисовать несколько бессистемных цветных пятен, явно лишенных какой‑либо коммуникативной или референциальной цели (см. рис. 8.1)? Если культурная изобретательность проистекает из рециклинга мозговых механизмов, общих для людей и других приматов, почему между культурными навыками человека и шимпанзе такая огромная разница?

### Нейропластичность

На сегодняшний день предложено несколько решений этой головоломки. Одно из них состоит в том, что человеческий мозг наделен большей пластичностью, чем мозг наших шимпанзе. Бесспорно, наиболее выдающаяся особенность *Homo sapiens*, которая отличает нас от других приматов и даже от нашего предка *Homo erectus*, состоит в том, что мы рождаемся с незрелым и очень пластичным мозгом[[503]](#footnote-503). Человек появляется на свет до того, как завершается развитие его мозга. Кора еще неврологически незрелая, и ее синаптическое созревание будет продолжаться в течение следующих нескольких лет.

Хотя пролонгированная пластичность, вероятно, вносит важный вклад в способность человека адаптироваться к широкому спектру условий среды, я сомневаюсь, что она играет ведущую роль в нашей склонности к культурным изобретениям. Основным фактором, который мешает шимпанзе производить культурные объекты, едва ли является способность к научению. Множество экспериментов показывают, что мозг приматов вполне способен к усвоению абстрактных понятий и переходу к новой деятельности. Даже макаки, как показали Никос Логотетис и Яцуси Миясита, могут научиться распознавать произвольные формы кривых и фракталов, с которыми они никогда не сталкиваются в естественной среде обитания. В главе 3 мы убедились, что в результате такого обучения некоторые нейроны в зрительной коре макаки кардинально меняют свои настройки и начинают избирательно реагировать на новые формы[[504]](#footnote-504). Другим исследователям удалось научить шимпанзе и макак распознавать арабские цифры, быстро упорядочивать их и связывать с соответствующими величинами[[505]](#footnote-505).

Кроме того, обезьяны могут управлять инструментами. Ацуси Ирики и его коллеги из Токийского университета без труда научили обезьян пользоваться длинными граблями, чтобы доставать предметы. Животные настолько хорошо освоили эту задачу, что в итоге могли добраться даже до скрытых предметов, руководствуясь обратной связью на мониторе компьютера[[506]](#footnote-506). Овладение инструментом приводило к масштабным изменениям в небольшом участке переднего отдела теменной доли: расширению нейронных рецептивных полей, экспрессии нейротрофических факторов, усилению связей с отдаленными областями коры. Сходство с человеческим мозгом позволяет предположить, что этот участок вполне может быть предшественником сети нейронов, которая у человека отвечает за усвоенные жесты, включая письмо.

Вкратце, зачатки способности к усвоению символов явно присутствуют и у других видов, помимо *Homo sapiens*. Тем не менее ни один из них не изобрел собственных культурных символов. Поскольку мозг обезьяны способен к овладению знаками и инструментами, сниженная нейропластичность не может быть причиной отсутствия культурных инноваций у других приматов. Чего же им не хватает? Дело не в способности учиться. Животным не хватает способности изобретать и передавать культурные объекты.

### Теория чужого сознания

Существует предположение, что человеческий мозг «предварительно адаптирован» к культурной передаче. Эту позицию отстаивает и Майкл Томаселло:

В отличие от других приматов, люди биологически приспособлены к культуре. Наиболее отчетливо это наблюдается при систематическом сравнении навыков социального научения у людей и их ближайших родственников‑приматов. Человеческая адаптация к культуре впервые проявляется в нашем онтогенезе примерно в годовалом возрасте, когда младенцы начинают воспринимать других людей как интенциональных агентов, подобных себе, и вступают с ними во взаимодействие, характеризующееся совместным вниманием. Это позволяет маленьким детям использовать некоторые исключительно мощные формы культурного научения с целью усвоения знаний, накопленных представителями их культуры[[507]](#footnote-507).

По мнению Томаселло, особенность нашего вида основывается на уникальной способности к культурной передаче, обусловленной недавним расширением модуля для «теории чужого сознания»[[508]](#footnote-508) – ментальной репрезентации намерений и убеждений других людей. Наличие этого представления содействует распространению культуры по меньшей мере тремя различными способами. Во‑первых, оно позволяет взрослым понимать объем и пределы знаний своих детей, тем самым мотивируя их к обучению и даже к разработке педагогических стратегий. Во‑вторых, «теория сознания» помогает детям определять коммуникативные и педагогические намерения окружающих – они не довольствуются подражанием взрослым, а делают это с полным осознанием их целей[[509]](#footnote-509). Наконец, эта теория наделяет каждого представителя человечества способностью репрезентировать себя, обращать внимание на свои собственные психические состояния и манипулировать ими посредством новых культурных изобретений.

Десятки экспериментов показывают, что очень маленькие дети невероятно чувствительны к коммуникативным намерениям других людей. Это понимание играет ключевую роль в овладении речью[[510]](#footnote-510). Вопреки широко распространенному мнению, дети не усваивают слова путем их многократного ассоциирования с соответствующими им предметами. Услышав новое слово, они могут проследить за взглядом взрослого и понять, о чем именно он говорит. Только определив, что конкретно имеет в виду говорящий, а также приняв во внимание различные сигналы, свидетельствующие о его знаниях и компетентности, дети приписывают значение услышанному слову. В «бессмысленных» ситуациях, допустим, если новое слово повторяет громкоговоритель, никакого научения не происходит. Иначе говоря, культурная трансмиссия требует понимания чужого сознания.

Согласно Томаселло, чувствительность к чужим психическим состояниям, присущая только человеку, не является результатом внезапной мутации. Примитивная репрезентация намерений, убеждений и целей присутствует в родословной всех человекообразных обезьян. У человека, однако, она многократно усиливается и сопровождается особой мотивацией разделять эмоции и деятельность с другими людьми. Как утверждает Томаселло, ни одна из этих человеческих компетенций, строго говоря, сама по себе не предопределяет возникновения культуры. Тем не менее в какой‑то момент достигается критическая масса достижений, стимулирующих развитие культуры. Возникает каскад эффектов, когда каждое новое изобретение облегчает передачу других. Интеллектуальное подражание и активная педагогика в результате стабилизируют культурные представления в рамках нескольких поколений.

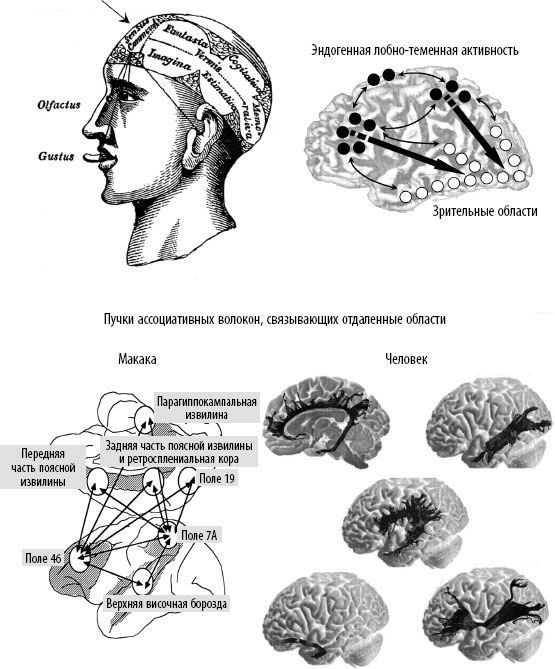
Хотя гипотеза Томаселло достаточно любопытна, она лишь частично раскрывает необычайное расширение человеческой культурной сферы. Она объясняет почти эпидемическое распространение культуры с одного новаторского центра на большую группу людей, а также стабильный или даже необратимый характер наших самых распространенных культурных черт (огонь, сельское хозяйство, разведение животных, города, письменность, правовая система и так далее). Однако она мало что говорит о первоначальной искре, которая порождает культурную изобретательность. Несомненно, человек обладает особым даром распространять культуру, но это также единственный из всех видов животных, который эту культуру *создает*. ***Homo sapiens* наделен воображением, не имеющим аналогов в животном мире.** Чтобы в этом убедиться, достаточно понаблюдать, как играет маленький ребенок. О культурной креативности как таковой гипотеза социальной трансмиссии Томаселло умалчивает.

### Глобальное нейрональное рабочее пространство

Мой собственный взгляд на уникальность человеческой культуры состоит в том, что требовалось еще одно важное изменение, помимо развития «теории чужого сознания» – способность генерировать новые комбинации идей и усовершенствование сознательного ментального синтеза.

Если сравнить анатомию мозга современных людей с анатомией других приматов, ранних гоминидов или даже неандертальцев, мы увидим, что характерной особенностью нашего вида является выраженное увеличение размеров лобной доли. Префронтальная кора, расположенная в передней части полушарий головного мозга, является ключевым игроком в обширных сетях ассоциативных областей, включающих не только лобную, но и нижнюю теменную и переднюю височную кору. У людей эти зоны почти в 40 раз больше, чем у макак[[511]](#footnote-511).

Возможно, самая примечательная трансформация, которая произошла в человеческом мозге, – это увеличение пучков волокон, лежащих под лобной долей. У человека они больше, чем у любого другого вида приматов, даже с учетом разницы размеров мозга и тела[[512]](#footnote-512). Некоторые дальние связи, например те, что соединяют нижнюю префронтальную кору с затылочным полюсом, могут существовать только у человека (рис. 8.2). Префронтальные нейроны человека демонстрируют явную адаптацию к этому масштабному увеличению коннективности: их дендритные деревья, получающие сигналы от других нейронов, более ветвисты, а синаптические контакты гораздо многочисленнее, чем у других приматов[[513]](#footnote-513). Одна из разновидностей нейрона – гигантская веретенообразная клетка – по‑видимому, имеется только у *Homo sapiens* и других человекообразных обезьян[[514]](#footnote-514). Эти нейроны находятся в определенной части лобной доли, передней поясной коре, и посылают чрезвычайно длинные аксоны к другим отдаленным участкам мозга.



**Рис. 8.2.** Чтение – лишь один из примеров необычайной изобретательности нашего вида. Почему же только *Homo sapiens* переориентирует свои корковые сети на новые культурные функции? Аристотелевское понятие «общего чувства», мозгового центра, в котором слияние пяти чувств питает воображение и изобретательность, находит отклик в современных представлениях о дальних связях в мозге, особенно развитых у людей. Эти пучки объединяют и рекомбинируют информацию, поступающую из многих областей мозга. Для таких сетей характерна постоянная спонтанная активность. Мы с Жан‑Пьером Шанже предполагаем, что эти нисходящие сигналы, встречаясь с восходящими сенсорными импульсами, обеспечивают сознательный доступ к внешнему миру и поддерживают повышенную способность к ментальному исследованию и изобретательству. *Использовано с разрешения Annual Review of Neuroscience и Oxford University Press.*

За массовым увеличением количества связей должен стоять новый функционал. Мы с Жан‑Пьером Шанже предполагаем, что он заключается в передаче информации, поступающей из нескольких областей мозга, и ее объединении в общем рабочем пространстве коры. По завершении стадии ментального синтеза рассеивающиеся связи передают данные остальному мозгу.

Бо́льшая часть коры приматов носит модульный характер – она подразделяется на специализированные территории, каждая из которых имеет специфические сенсорные сигналы на входе и выходе, а также внутреннюю структуру. Префронтальная кора и другие ассоциативные области, однако, устроены иначе. Они излучают и получают гораздо более разнообразные корковые сигналы, а потому, как правило, менее специализированы. Их поперечные связи нарушают модульность мозга и значительно увеличивают пропускную способность коры. Едва ли стоит удивляться, что эта система достигает своей максимальной эффективности в человеческом мозге. Мое предположение состоит в том, что ее эволюция порождает масштабное «нейрональное рабочее пространство», основная функция которого заключается в собирании, сопоставлении, рекомбинировании и синтезе знаний. Оно способствует предотвращению разделения информации и позволяет выбирать оптимальное поведение на основе любых комбинаций данных из прошлого и текущего опыта. Наша префронтальная кора, благодаря своим связям со всеми областями высшего уровня, обеспечивает пространство для внутренних размышлений, питаемых обширным набором перцепций и воспоминаний. Условно говоря, то, что мы называем сознательным мышлением, может быть просто манипулированием информацией в глобальном нейрональном рабочем пространстве.

Моя попытка установить связь между лобной долей и высшими умственными способностями, безусловно, не нова. За последние 30 лет этот вопрос исследовали такие физиологи, как Патриция Гольдман‑Ракич и Хоаким Фустер, а также ряд нейропсихологов, в том числе Александр Лурия, Франсуа Лермитт и Тим Шаллис. Все они заметили одну интересную особенность: хотя повреждение лобной доли часто не оказывает влияния на элементарные и автоматизированные формы поведения, оно приводит к трудностям в организации сознательной рефлексии и планировании сложных целенаправленных действий. Уже в начале XX века передовые эксперименты итальянского невролога Леонардо Бьянчи, посвященные повреждениям мозга, заставили его охарактеризовать лобную долю как «орган психического синтеза». Он подчеркивал, что коннективность лобных долей, особенно развитая у людей, содействует сопоставлению слуховых и зрительных механизмов и быстрому подключению к системам понимания и производства речи[[515]](#footnote-515).

Вернемся в еще более глубокое в прошлое. Именно Аристотель и Гален впервые сформулировали идею о том, что наш разум включает в себя *sensus communis* – «общее чувство», или здравый смысл, частный форум сознания, в рамках которого происходит связывание сигналов от органов чувств в единую и понятную репрезентацию. Еще в X веке Авиценна ассоциировал эту способность с передним отделом мозга (правда, он указывал на полости мозга – желудочки, – а не на саму корковую мантию)[[516]](#footnote-516):

К числу внутренних животных воспринимающих сил принадлежит сила фантазии, или общее чувство [sensus communis], – это расположенная в переднем желудочке мозга сила, которая самостоятельно принимает все формы, запечатлевающиеся в пяти чувствах и передающиеся ими этой силе. Далее следует сила представления, также расположенная в конце переднего желудочка мозга; это сила, которая сохраняет то, что общее чувство получает от пяти частных чувств и что сохраняется в нем даже после исчезновения чувственно воспринимаемого предмета… Далее идет сила, которую применительно к животной душе называют воображающей, а применительно к человеческой душе – мыслительной. Это сила, расположенная в среднем желудочке мозга[[517]](#footnote-517).

В этом отрывке Авиценна наделяет лобную долю тремя способностями, которые, по его мнению, существуют у животных, но гораздо более развиты у людей: *синтезом* пяти чувств; *памятью*, которая сохраняет этот синтез «в уме» даже после того, как его объект исчезает; и *воображением*, которое обогащает восприятие и вместе с разумом может «придумывать» новые способы достижения цели. Удивительно, но эти идеи предвосхитили три главных открытия современной нейронауки о функции лобных долей:

• Префронтальные нейроны в основном мультимодальные. Эксперименты показывают, что они способны собирать всю информацию, имеющую отношение к текущей цели, независимо от того, исходит ли она от органов слуха, зрения или осязания. Практически нет таких входящих сигналов, которые бы не поступали в префронтальную кору.

• Префронтальные нейроны активны даже после того, как воспринятый объект исчезает. Их разряды могут оставаться достаточно интенсивными в течение нескольких десятков секунд и хранить рабочую память о прошлом эпизоде столько, сколько требует эта информация.

• Префронтальные области включены в общемозговую сеть, активность которой постоянно варьируется, даже при отсутствии каких‑либо сенсорных сигналов. Заманчиво связать эти колебания со спонтанным потоком сознания и воображения[[518]](#footnote-518). Если во время сканирования испытуемого не просят выполнить какую‑либо конкретную задачу, мозг не находится в состоянии покоя, а проходит через непредсказуемую серию скоординированных состояний[[519]](#footnote-519). Возбуждение регистрируется в различных участках лобной коры, каждый из которых связан с определенными зонами отдаленных теменных, височных или затылочных долей. Эндогенная[[520]](#footnote-520) активация этих сетей характеризует состояние покоя в сознании – оно исчезает только в глубоком сне, при наркозе или в коме[[521]](#footnote-521).

Таким образом, человеческому мозгу изначально присуща хорошо развитая сеть дальних связей. Они образуют глобальное рабочее пространство, в котором осуществляется сопоставление, синтез и распределение информации, поступающей от других мозговых процессоров. Кроме того, для этой системы характерны спонтанные колебания, позволяющие проверять новые идеи. Я убежден, что недавний резкий рост этого глобального рабочего пространства тесно связан как с появлением рефлексивного сознания, так и с человеческой способностью создавать новые культурные объекты.

Спонтанные колебания, возникающие в префронтальной коре и других областях рабочего пространства, обеспечивают потенциальный нейронный механизм для процесса культурного рециклинга, о котором мы говорили на протяжении всей книги. Их стохастическая[[522]](#footnote-522) активность может свидетельствовать о постоянном исследовании различных способов сбора и анализа содержания наших мозговых процессоров. Благодаря разветвленной сети нисходящих связей наш вид, в отличие от всех остальных приматов, может выбирать произвольную комбинацию идей и мысленно управлять ими. В конечном счете они могут найти новое, непредвиденное применение. В пределах глобального нейронального пространства мы можем внедрить в сознание бесконечное количество мыслей и рекомбинировать их по своему желанию. Я предполагаю, что секрет особой способности нашего вида создавать новые культурные объекты кроется именно в этом нейрональном котелке.

Важно отметить, что хотя сознательной деятельности мозга и свойственны внезапные колебания, но они носят отнюдь не случайный характер. Внутри отдельного мозга, как и на уровне общества, механизмы отбора стабилизируют комбинации идей, которые наиболее интересны, полезны, невероятны или заразительны.

Дорсолатеральная префронтальная кора хорошо приспособлена для такого рода сортировки. Она является получателем избранных нейрональных проекций, поступающих из систем оценки и вознаграждения, локализованных в орбитофронтальной и поясной коре, а также в подкорковых ядрах, таких как миндалевидное тело и базальные ганглии.

Моя гипотеза об изучении корковых цепей через префронтальную кору, несомненно, напоминает идею Дэна Спербера о том, что культуры пользуются определенной степенью изменчивости в мозговых модулях. Однако возможность синтеза между множественными процессорами мозга под защитой префронтальной коры значительно обогащает модель Спербера. Корковый рециклинг состоит не только в поиске новых входов для одного модуля. Сеть дальних связей, достигающая пика у *Homo sapiens,* в первую очередь обеспечивает сопоставление информации, поступающей от множества мозговых процессоров, которые в противном случае не смогли бы взаимодействовать. Я убежден, что инновации часто возникают именно из таких связей и межпрофильных метафор[[523]](#footnote-523). Изобретение чтения, в частности, состояло не только в создании набора знаков, которые эффективно стимулировали нашу зрительную кору. Оно опиралось главным образом на *ассоциацию* этих знаков со слуховыми, фонологическими и лексическими репрезентациями устной речи. Если другие человекообразные обезьяны не додумались до этой идеи, то, возможно, потому, что архитектура их мозга не позволяла им проверить эти новые комбинации.

Множество исследователей пришли к выводу, что наш вид обладает даром объединять мысли. Другие виды не способны интегрировать все источники информации с одинаковой степенью гибкости. Даже у детей этот процесс ограничен до полного развития префронтальной коры. Пространственные знания детей изучала моя подруга и коллега Элизабет Спелке с факультета психологии Гарварда. Как показывают ее исследования, до пяти‑шести лет поисковое поведение детей отличается модульностью и низкой интеграцией. В поисках спрятанного предмета малыши, как правило, руководствуются цветом стены и чувством локации, которое подсказывает им, в какой части комнаты следует искать. Лишь к шести годам дети начинают представлять комбинаторную концепцию, такую как «слева от зеленой стены». Другие виды, например крысы, не достигают этой стадии интеграции даже во взрослом возрасте[[524]](#footnote-524). Способность складывать вместе две отдельные репрезентации («где» и «что»), по‑видимому, связана с речью, а потому может быть присуща исключительно человеку[[525]](#footnote-525).

Аннет Кармилофф‑Смит из Лондонского института детского здоровья предложила смежную теорию, согласно которой когнитивное развитие детей состоит в выходе «за пределы модульности»[[526]](#footnote-526). Часть мозга ребенка, включая префронтальную кору, учится заново описывать в конкретной и абстрактной форме неявные знания, приобретенные ранее и скрытые в специализированных модулях. Усвоение алфавитного принципа – прекрасный пример такого внутреннего переосмысления. **При рождении младенцы уже обладают, хотя и имплицитно, некоторым знанием фонем.** После специального заучивания алфавита это скрытое знание сознательно извлекается и становится полноценной фонематической осведомленностью – способностью сознательно репрезентировать фонемы и манипулировать ими. В этой области ментальный синтез, сознательное представление и культурное изобретение явно идут рука об руку.

Аналогичному анализу можно подвергнуть и многие другие области человеческой культуры. Что касается математики, то в своей предыдущей книге «Number Sense» (буквально – «Чувство числа») я подчеркивал, что математика основывается на установлении новых связей или сравнений между такими категориями, как число, пространство и время[[527]](#footnote-527). В области художественного творчества Жан‑Пьер Шанже видит суть искусства в поиске гармоничной целостности между мозговыми процессорами. К схожему выводу приходит и археолог Стивен Митен, основываясь на анализе орудий труда, созданных нашими предками за несколько миллионов лет человеческой эволюции. Митен полагает, что достижения нашего вида являются следствием мутации, позволившей многочисленным «часовенкам» специализированного интеллекта слиться в единый «собор», в котором могут свободно перемещаться мысли любого рода[[528]](#footnote-528).

Итак, мозг нашего вида обладает особым даром к ментальной рекомбинации. Эволюция глобального рабочего пространства позволяет ему оптимально эксплуатировать культурную когнитивную нишу, возникшую благодаря нейронному рециклингу. Только человек изобретает кардинально новые способы использования своих древних мозговых процессоров и, связывая их воедино, придумывает новые правила. Наша префронтальная кора функционирует как примитивная «машина Тьюринга». Она работает медленно и часто ошибается, но новые синтезы, которые она генерирует, отличаются высочайшей продуктивностью и креативностью. Ее изобретения, накопленные посредством культурной передачи на протяжении многих тысячелетий, выходят далеко за пределы способностей, приобретенных нашим видом в ходе биологической эволюции. Среди множества культурных сокровищ чтение, безусловно, является самой ценной жемчужиной, воплощающей в себе вторую систему наследования. Передать ее грядущим поколениям – наш долг.

## Заключение

## Будущее чтения

Письмо – искусство передачи мыслей через глаз – величайшее изобретение человечества. Величайшее, ибо в основе даже самого грубого и общего представления о нем лежит поразительный диапазон операций анализа и комбинирования; величайшее, ибо позволяет нам говорить с умершими, отсутствующими и нерожденными вопреки разделяющему нас времени и пространству; величайшее, ибо не только приносит непосредственную пользу, но и содействует всем прочим изобретениям.

АВРААМ ЛИНКОЛЬН (16‑Й ПРЕЗИДЕНТ США, 1809–1865)

Чтение – это одновременно и результат человеческой эволюции, и главный фактор в ее культурном взрыве. Благодаря расширению «собора» разума, нашей префронтальной коры, *Homo sapiens* создал письменность. Это изобретение, в свою очередь, обострило наш ум и наделило нас дополнительной внешней памятью, которая позволяет любому человеку, как выразился Франсиско де Кеведо, «слушать мертвых глазами» и делиться идеями мыслителей прошлого. В этом отношении чтение является первым «протезом разума»[[529]](#footnote-529) – протезом, который древние писцы старательно приспосабливали к нашему мозгу приматов.

Нейронаука о чтении показывает, что мозг каждого ребенка содержит нейронные цепи, которые могут быть переориентированы на чтение. На самом деле научиться читать способны даже дети с дислексией и неграмотные взрослые. Пластичность мозга позволяет обойти это заболевание посредством использования альтернативных мозговых путей. Наше растущее понимание того, как развивается чтение у маленьких детей, появление программного обеспечения для чтения, основанного на прочном когнитивном фундаменте, и его адаптация к мозгу каждого ребенка должны принести новую надежду всем тем, для кого чтение является мучительным испытанием.

Обратите внимание: я вовсе не утверждаю, что нейронаука мигом устранит все проблемы или что компьютеры, созданные и оптимизированные когнитивистами, скоро заменят школьных учителей. Мое послание более скромно: нет ничего, чему не могла бы помочь наука. Родители и педагоги должны лучше понимать, что́ именно чтение меняет в мозге ребенка. Детские зрительные и речевые области представляют собой потрясающую машину, которую образование превращает в искусное устройство для чтения. Я убежден, что знание этих цепей значительно упростит задачу учителя.

Я также не утверждаю, что нейронаука должна одержать верх над экспериментальной психологией и педагогическими исследованиями. В лабораториях нейровизуализации, таких как моя, именно психологи стоят за определением протоколов исследований. В школе у штурвала стоят учителя. Их главная задача – пробудить интерес ребенка к чтению с помощью грамотно подобранных примеров, упражнений и творческих видов деятельности. Чтобы управлять динамикой класса, требуется педагогический опыт, к которому я испытываю глубочайшее уважение. Однако я считаю, что ни педагоги, ни психологи не могут позволить себе игнорировать научные достижения. Современная нейронаука совершает важные открытия относительно того, как работает мозг читателя и что именно делает его более или менее восприимчивым к различным методикам обучения.

Я надеюсь, что в будущем исследования в области педагогики, психологии и нейронауки сольются в единую, унифицированную науку о чтении. Как следует обучать чтению – первый вопрос, на который ей предстоит ответить. Необходимо определить принципы, благодаря которым дети смогут учиться читать без стресса. Новый подход к обучению может быть разработан путем учреждения в школах экспериментальных классов и исследовательских лабораторий. Такие условия позволили бы проводить надлежащие педагогические эксперименты и объединить усилия ученых и педагогов по созданию оптимальных методик преподавания. Разумеется, это повлечет за собой множество новых вопросов. Следует ли учить письму одновременно с распознаванием букв? Нужно ли маленьким детям писать короткие предложения? Экономим ли мы время, специально привлекая внимание ребенка к симметричным буквам вроде «b» и «d»? Готовых ответов на эти вопросы пока нет. Только коллективное и скрупулезное исследование приведет нас к конструктивным решениям и интересным педагогическим открытиям.

Никто не станет отрицать, однако, что на некоторые вопросы, касающиеся обучения чтению, ответы уже найдены. Сегодня мы знаем, что подход целых слов неэффективен: все дети, независимо от их социально‑экономического статуса, извлекают пользу из специального и раннего обучения звуко‑буквенным соответствиям. Это хорошо установленный факт, подтвержденный многочисленными экспериментами. Кроме того, он согласуется с нашим нынешним пониманием того, как работает мозг читателя. Отступление от этой методики под предлогом экспериментирования или педагогической независимости оказывает катастрофическое влияние на процесс овладения чтением.

По мере формирования научного согласия относительно механизмов грамотности обучение чтению может стать ярким примером подлинной «нейропсихопедагогики» – комплексного подхода, одновременно сохраняющего автономию учителя и направленного на поиск эффективных стратегий обучения.

Какой еще вклад в преподавание может внести наука? Например, она может познакомить педагогов с концепцией *экспериментирования*. Экспериментировать – не значит проверять смутные идеи, пришедшие в голову в сию минуту. Любой эксперимент требует терпеливого и тщательного планирования. Прежде чем генерировать инновационные стратегии обучения, следует задействовать все предыдущие источники знаний. Кроме того, эксперимент подразумевает, что любое изобретение необходимо оценить, сравнив его с контрольной ситуацией (другой день, другое упражнение, другой класс). Я уверен, что такой подход может значительно улучшить обучение чтению. Чтобы это произошло, необходимо уделить самое пристальное внимание не только недавним когнитивным открытиям, но и огромному опыту, накопленному учителями – главными специалистами по формированию навыков чтения.

К сожалению, мы живем в мире, в котором реформирование образования прежде всего служит мощной предвыборной платформой для руководителей и политиков. Стратегии в области образования постоянно меняются по прихоти школьных советов. Большинство решений основаны на благих идеях, но в отсутствие рационального мышления добрые намерения часто трансформируются в преимущественно ошибочные педагогические практики. Левые прогрессисты поддерживали подход целых слов на том основании, что он якобы спасает детей от тирании декодирования и орфографии; помимо этого, веский аргумент состоял в том, что дети должны иметь возможность учиться в своем собственном темпе. Некоторые учителя до сих пор считают, что ограничения, накладываемые нашими генами и структурой мозга на научение, – это происки правых. Разумеется, эти установки не имеют никакого отношения к механизму овладения чтением.

Я не могу согласиться с тем, что проницательность школьных руководителей может заменить собой накопленные научные знания. Некоторые простые истины должны разделять все специалисты без исключения. Несмотря на различия в скорости, с которой мы учимся, все дети обладают одинаковым мозгом. Их нейронные сети заранее настроены на систематические графемно‑фонемные соответствия и способны извлечь максимальную выгоду из фонетического подхода – единственного метода, который дает возможность читать любой текст. Размер класса в основном не имеет значения, так как тщательно спланированные методики преподавания могут использоваться даже в больших классах (20 учеников и больше). Главное – быстро выявлять детей из группы риска. Следовательно, необходимо разработать эффективные и стандартизированные тесты на дислексию. Ранняя диагностика позволит своевременно направить этих детей на специальные занятия по чтению с акцентом на фонологическую подготовку.

Хотя для начинающих читателей декодирование имеет первостепенное значение, не менее важно и обогащение словарного запаса. Ребенок должен освоить морфологию языка (приставки, суффиксы и корни слов), особенно если он происходит из неблагополучной семьи или осваивает иностранный язык.

Все эти идеи просты, понятны и легко применимы на практике. Они являются первыми побегами новой науки о чтении – самого чудесного дара, который мы можем передать будущим поколениям:

В чтении, которое приносит удовольствие и пользу, радует и наставляет, сосредоточено все, о чем только можно мечтать.

ЖАК АМИО (ФРАНЦУЗСКИЙ ФИЛОЛОГ, 1513–1593)

## Благодарности

Все мои исследования по чтению и его нейронным основам проведены в тесном сотрудничестве с моим другом и коллегой Лораном Коэном – профессором неврологии в больнице Сальпетриер и ключевой фигурой в нейропсихологии чтения. В ходе наших жарких дискуссий были сформулированы многие предположения, изложенные в этой книге. Также я хотел бы поблагодарить всех научных сотрудников, с которыми мне посчастливилось работать: в первую очередь Рафаэля Гайяра, Антуанетту Жобер, Сида Куидера, Дени Ле Биана, Стефана Лереси, Жан‑Франсуа Мангена, Николя Молко, Лионеля Наккаша, Жан‑Батиста Полина, Филиппа Пинеля, Мариано Сигмана, Марцина Сведа, Фабьена Винкье.

Я давно потерял счет многочисленным коллегам, которые помогали мне ориентироваться в бескрайнем море научной литературы о чтении. Каждый из них внес свой важный вклад в нашу работу. Одни присылали свои статьи, другие исправляли мои рукописи перед публикацией и давали полезные советы, третьи вычитывали главы этой книги, четвертые любезно разрешили использовать свои данные. Хотя я не могу перечислить их всех, я искренне благодарен каждому. Отдельное спасибо Ирвингу Бидерману, Кэтрин Биллард, Брайану Баттеруорту, Альфонсо Карамацца, Жан‑Пьеру Шанже, Роджеру Шартье, Джо Девлину, Гуиневер Иден, Уте Фрит, Альберту Галабурда, Джонатану Грейнджеру, Эду Хаббарду, Алюмиту Ишай, Нэнси Кэнуишер, Режин Колински, Хейкки Лийтинену, Кристиану Марендазу, Брюсу Маккэндлиссу, Ясуси Миясита, Хосе Мораису, Джону Мортону, Кимихиро Накамура, Татьяне Назир, Эральдо Паулесу, Моник Плаза, Майклу Познеру, Кэти Прайс, Франку Рамусу, Салли и Беннету Шейвиц, Дэну Сперберу, Лилиан Шпренгер‑Шароль, Сяолинь Сун, Овиду Цэну, Джо Зиглеру.

Во время работы над книгой мне довелось посетить множество прекрасных мест: Сиэтл (спасибо Энн и Дэну Стрейссгутам), Бостон (спасибо Элизабет Спелке и Элиоту Блассу), Пирьяк (где находится летний домик семьи Деан), Туртур неподалеку от Ниццы, горнолыжный курорт Ла‑Плань во Французских Альпах, отель Altiplanico в Сан‑Педро‑де‑Атакама (спасибо Марселе Пенья), мой родной город Палезо и мою лабораторию в Комиссариате по атомной энергии в Сакле (Франция).

Несомненно, структура этой книги значительно улучшилась после вычитки Одиль Жакоб, моего французского редактора, и нескольких этапов правок, внесенных Сюзаной Франк.

Книга посвящена моей жене Гилен Деан‑Ламберц, моей давней коллеге, матери моей семьи и постоянному источнику воодушевления и позитивной критики. Без ее помощи и поддержки этой книги бы не было.

## Библиография[[530]](#footnote-530)

###### Общие источники

Cavallo, G., & Chartier, R. (1999). *A history of reading in the West*. Boston: University of Massachusetts Press.

Changeux, J. P. (2004). *The physiology of truth: Neuroscience and human knowledge*. Cambridge, MA: Belknap Press.

Coulmas, F. (1989). *The writing systems of the world*. Oxford: Blackwell.

Corballis, M. C., & Beale, I. L. (1976). *The psychology of left and right*. New York: Erlbaum.

DeFrancis, J. (1989). *Visible speech: The diverse oneness of writing systems*. Honolulu: University of Hawaii Press.

Ellis, A. W. (1984). *Reading, writing and dyslexia: A cognitive analysis*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Jean, G. (1992). *Writing: The story of alphabets and scripts*. London: Thames & Hudson.

Miles, T. R., & Miles, E. (1999). *Dyslexia: A hundred years on* (2nd edition). Buckingham, UK: Open University Press.

Mithen, S. (1996). *The prehistory of the mind: The cognitive origins of art, religion and science*. London: Thames & Hudson.

Posner, M. I., & Raichle, M. E. (1994). *Images of mind*. New York: Scientific American Library.

Rayner, K., Foorman, B. R., Perfetti, C. A., Pesetsky, D., & Seidenberg, M. S. (2001). How psychological science informs the teaching of reading. *Psychological Science in the Public Interest* 2:31–74.

Rayner, K., & Pollatsek, A. (1989). *The psychology of reading*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Robinson, A. (1995). *The story of writing: Alphabets, hieroglyphs and pictograms*. London: Thames & Hudson.

Shaywitz, S. (2003). *Overcoming dyslexia*. New York: Random House.

Snowling, M. (2000). *Dyslexia*. Oxford: Blackwell.

Snowling, M. J., & Hulme, C. (Eds.). (2005). *The science of reading: A handbook*. Oxford: Blackwell.

###### Подробные ссылки

Abel, P. L., O’Brien, B. J., & Olavarria, J. F. (2000). Organization of callosal linkages in visual area V2 of macaque monkey. *Journal of Comparative Neurology* 428:278–293.

Aghababian, V., & Nazir, T. A. (2000). Developing normal reading skills: Aspects of the visual processes underlying word recognition. *Journal of Experimental Child Psychology* 76(2):123–150.

Ahissar, M., & Hochstein, S. (2004). The reverse hierarchy theory of visual perceptual learning. *Trends in Cognitive Sciences* (10):457–464.

Ahissar, M., Protopapas, A., Reid, M., & Merzenich, M. M. (2000). Auditory processing parallels reading abilities in adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97(12):6832–6837.

Allison, T., McCarthy, G., Nobre, A. C., Puce, A., & Belger, A. (1994). Human extrastriate visual cortex and the perception of faces, words, numbers and colors. *Cerebral Cortex* 5:544–554.

Allison, T., Puce, A., Spencer, D. D., & McCarthy, G. (1999). Electrophysiological studies of human face perception. I: Potentials generated in occipitotemporal cortex by face and non‑face stimuli. *Cerebral Cortex* 9(5):415–430.

Altmann, G. T. (2002). Statistical learning in infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99(24):15250–15251.

Ans, B., Carbonnel, S., & Valdois, S. (1998). A connectionist multiple‑trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychological Review* 105(4):678–723.

Arguin, M., Fiset, S., & Bub, D. (2002). Sequential and parallel letter processing in letter‑by‑letter dyslexia. *Cognitive Neuropsychology* 19:535–555.

Atran, S. (1990). *Cognitive foundations of natural history*. New York and Cambridge, UK: Cambridge University Press.

––. (2002). *In gods we trust: The evolutionary landscape of religion*. New York: Oxford University Press.

Atran, S., Medin, D. L., & Ross, N. O. (2005). The cultural mind: Environmental decision making and cultural modeling within and across populations. *Psychological Review* 112(4):744–776.

Baker, C., Behrmann, M., & Olson, C. (2002). Impact of learning on representation of parts and wholes in monkey inferotemporal cortex. *Nature Neuroscience* 5(11):1210–1216.

Baker, C. I., Liu, J., Wald, L. L., Kwong, K. K., Benner, T., & Kanwisher, N. (2007). Visual word processing and experiential origins of functional selectivity in human extrastriate cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104(21):9087–9092.

Barkow, J. H., Cosmides, L., & Tooby, J. (Eds.). (1992). *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture*. New York: Oxford University Press.

Baylis, G. C., & Driver, J. (2001). Shape‑coding in IT cells generalizes over contrast and mirror reversal, but not figure‑ground reversal. *Nature Neuroscience* 4(9):937–942.

Beale, I. L., Williams, R. J., Webster, D. M., & Corballis, M. C. (1972). Confusion of mirror images by pigeons and interhemispheric commissures. *Nature* 238(5363):348–349.

Beauchamp, M. S., Lee, K. E., Argall, B. D., & Martin, A. (2004). Integration of auditory and visual information about objects in superior temporal sulcus. *Neuron* 41(5):809–823.

Beaulieu, C., Plewes, C., Paulson, L. A., Roy, D., Snook, L., Concha, L., & Phillips, L. (2005). Imaging brain connectivity in children with diverse reading ability. *Neuroimage* 25(4):1266–1271.

Bellenger, L. (1980). *Les méthodes de lecture* (2nd edition). Paris: Presses Universitaires de France.

Benasich, A. A., & Tallal, P. (2002). Infant discrimination of rapid auditory cues predicts later language impairment. *Behavioral and Brain Research* 136:31–49.

Bentin, S., Mouchetant‑Rostaing, Y., Giard, M. H., Echallier, J. F., & Pernier, J. (1999). ERP manifestations of processing printed words at different psycholinguistic levels: time course and scalp distribution. *Journal of Cognitive Neuroscience* 11:235–260.

Berlin, B. (1992). *Ethnobiological classification: Principles of categorization of plants and animals in traditional societies*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Besner, D. (1989). On the role of outline shape and word‑specific visual pattern in the identification of function words: NONE. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* A 41:91–105.

Bhatt, R. S., Hayden, A., Reed, A., Bertin, E., & Joseph, J. (2006). Infants’ perception of information along object boundaries: Concavities versus convexities. *Journal of Experimental Child Psychology* 94(2):91–113.

Bianchi, L. (1921). *La mécanique du cerveau et la fonction des lobes frontaux*. Paris: Louis Arnette.

Biederman, I. (1987). Recognition‑by‑components: A theory of human image understanding. *Psychological Review* 94(2):115–147.

Biederman, I., & Bar, M. (1999). One‑shot viewpoint invariance in matching novel objects. *Vision Research* 39(17):2885–2899.

Biederman, I., & Cooper, E. E. (1991). Evidence for complete translational and reflectional invariance in visual object priming. *Perception* 20(5):585–593.

Binder, J. R., Frost, J. A., Hammeke, T. A., Bellgowan, P. S., Rao, S. M., & Cox, R. W. (1999). Conceptual processing during the conscious resting state: A functional MRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 11(1):80–95.

Binder, J. R., Frost, J. A., Hammeke T. A., Bellgowan, P. S., Springer, J. A., Kaufman, J. N., & Possing, E. T. (2000). Human temporal lobe activation by speech and nonspeech sounds. *Cerebral Cortex* 10(5):512–528.

Binder, J. R., McKiernan, K. A., Parsons, M. E., Westbury, C. F., Possing, E. T., Kaufman, J. N., & Buchanan L. (2003). Neural correlates of lexical access during visual word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience* 15(3):372–393.

Binder, J. R., Medler, D. A., Westbury, C. F., Liebenthal, E., & Buchanan, L. (2006). Tuning of the human left fusiform gyrus to sublexical orthographic structure. *Neuroimage* 33(2):739–748.

Binder, J. R., & Mohr, J. P. (1992). The topography of callosal reading pathways. A case‑control analysis. *Brain* 115:1807–1826.

Bitan, T., & Karni, A. (2003). Alphabetical knowledge from whole words training: Effects of explicit instruction and implicit experience on learning script segmentation. *Brain Research Cognitive Brain Research* 16(3):323–337.

Blackmore, S. J. (1999). *The meme machine*. Oxford: Oxford University Press.

Bokde, A. L., Tagamets, M. A., Friedman, R. B., & Horwitz, B. (2001). Functional interactions of the inferior frontal cortex during the processing of words and word‑like stimuli. *Neuron* 30(2):609–617.

Booth, J. R., Burman, D. D., Meyer, J. R., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., & Mesulam, M. M. (2002). Functional anatomy of intra‑ and cross‑modal lexical tasks. *Neuroimage* 16(1):7–22.

Booth, M., & Rolls, E. (1998). View‑invariant representations of familiar objects by neurons in the inferior temporal visual cortex. *Cerebral Cortex* 8(6):510–523.

Bornstein, M. H., Gross, C. G., & Wolf, J. Z. (1978). Perceptual similarity of mirror images in infancy. *Cognition* 6(2):89–116.

Bosse, M. L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis. *Cognition* 104(2):198–230.

Bouma, H. (1973). Visual interference in the parafoveal recognition of initial and final letters of words. *Vision Research* 13(4):767–782.

Boysen, S. T., Berntson, G. G., & Prentice, J. (1987). Simian scribbles: A reappraisal of drawing in the chimpanzee (Pan troglodytes). *Journal of Comparative Psychology* 101(1):82–89.

Bradley, L., & Bryant, P. (1983). Categorizing sounds and learning to read: A causal connection. *Nature* 30:419–421.

Bradley, L., & Bryant, P. E. (1978). Difficulties in auditory organization as a possible cause of reading backwardness. *Nature* 271:746–747.

Braibant, J.‑M., & Gérard, F.‑M. (1996). Savoir lire: Une question de méthodes? *Bulletin de psychologie scolaire et d’orientation* 1:7–45.

Brambati, S. M., Termine, C., Ruffino, M., Stella, G., Fazio, F., Cappa, S. F., & Perani, D. (2004). Regional reductions of gray matter volume in familial dyslexia. *Neurology* 63(4):742–745.

Breier, J. I., Gray, L., Fletcher, J. M., Diehl, R. L., Klaas, P., Foorman, B. R., & Molis, M. R. (2001). Perception of voice and tone o set time continua in children with dyslexia with and without attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of Experimental Child Psychology* 80(3):245–270.

Breier, J. I., Gray, L. C., Fletcher, J. M., Foorman, B., & Klaas, P. (2002). Perception of speech and nonspeech stimuli by children with and without reading disability and attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of Experimental Child Psychology* 82(3):226–250.

Brincat, S. L., & Connor, C. E. (2004). Underlying principles of visual shape selectivity in posterior inferotemporal cortex. *Nature Neuroscience* 7(8):880–886.

Brown, D. (1991). *Human universals*. New York: McGraw‑Hill.

Brown, W. E., Eliez, S., Menon, V., Rumsey, J. M., White, C. D., & Reiss, A. L. (2001). Preliminary evidence of widespread morphological variations of the brain in dyslexia. *Neurology* 56(6):781–783.

Brunswick, N., McCrory, E., Price, C. J., Frith, C. D., & Frith, U. (1999). Explicit and implicit processing of words and pseudowords by adult developmental dyslexics: A search for Wernicke’s Wortschatz? *Brain* 122:1901–1917.

Brysbaert, M. (1994). Interhemispheric transfer and the processing of foveally presented stimuli. *Behavioural Brain Research* 64(1–2):151–161.

Büchel, C., Price, C. J., & Friston, K. (1998). A multimodal language region in the ventral visual pathway. *Nature* 394(6690):274–277.

Burton, M. W., Small, S. L., & Blumstein, S. E. (2000). The role of segmentation in phonological processing: an fMRI investigation. *Journal of Cognitive Neuroscience* 12(4):679–690.

Butterworth, B. (1999). *The mathematical brain*. London: Macmillan.

Byrne, R. W., Barnard, P. J., Davidson, I., Janik, V. M., McGrew, W. C., Miklosi, A., & Wiessner, P. (2004). Understanding culture across species. *Trends in Cognitive Sciences* 8(8):341–346.

Calvet, L.‑J. (1998). *Histoire de l’écriture*. Paris: Hachette.

Cantlon, J. F., Brannon, E. M., Carter, E. J., & Pelphrey, K. A. (2006). Functional imaging of numerical processing in adults and 4‑y‑old children. *PLoS Biology* 4(5):e125.

Caramazza, A. (1996). The brain’s dictionary. *Nature* 380:485–486.

––. (1998). The interpretation of semantic category‑specific deficits: What do they reveal about the organization of conceptual knowledge in the brain? *Neurocase* 4:265–272.

Caramazza, A., & Hillis, A. E. (1991). Lexical representation of nouns and verbs in the brain. *Nature* 349:788–790.

Caramazza, A., Laudanna, A., & Romani, C. (1988). Lexical access and inflectional morphology. *Cognition* 28:297–332.

Caramazza, A., & Shelton, J. R. (1998). Domain‑specific knowledge systems in the brain: The animate‑inanimate distinction. *Journal of Cognitive Neuroscience* 10:1–34.

Castles, A., & Coltheart, M. (2004). Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read? *Cognition* 91(1):77–111.

Castro‑Caldas, A., Miranda, P. C., Carmo, I., Reis, A., Leote, F., Ribeiro, C., & Ducla‑Soares, E. (1999). Influence of learning to read and write on the morphology of the corpus callosum. *European Journal of Neurology* 6(1):23–28.

Castro‑Caldas, A., Petersson, K. M., Reis, A., Stone‑Elander, S., & Ingvar, M. (1998). The illiterate brain: Learning to read and write during childhood influences the functional organization of the adult brain. *Brain* 121(Pt 6):1053–1063.

Catani, M., Jones, D. K., Donato, R., & Ffytche, D. H. (2003). Occipito‑temporal connections in the human brain. *Brain* 126(Pt 9):2093–2107.

Cestnick, L. (2001). Cross‑modality temporal processing deficits in developmental phonological dyslexics. *Brain and Cognition* 46(3):319–325.

Changeux, J. P. (1983). *L’homme neuronal*. Paris: Fayard.

––. (1994). *Raison et plaisir*. Paris: Odile Jacob.

––. (2002). *L’homme de verité*. Paris: Odile Jacob.

Changeux, J. P., & Connes, A. (1989). *Matière à pensée*. Paris: Odile Jacob.

Changeux, J. P., & Danchin, A. (1976). Selective stabilization of developing synapses as a mechanism for the specification of neuronal networks. *Nature* 264:705–712.

Changizi, M. A., & Shimojo, S. (2005). Character complexity and redundancy in writing systems over human history. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 272(1560):267–275.

Changizi, M. A., Zhang, Q., Ye, H., & Shimojo, S. (2006). The structures of letters and symbols throughout human history are selected to match those found in objects in natural scenes. *American Naturalist* 167(5):E117–139.

Chao, L. L., Haxby, J. V., & Martin, A. (1999). Attribute‑based neural substrates in temporal cortex for perceiving and knowing about objects. *Nature Neuroscience* 2(10):913–919.

Chen, Y., Fu, S., Iversen, S. D., Smith, S. M., & Matthews, P. M. (2002). Testing for dual brain processing routes in reading: a direct contrast of Chinese Character and Pinyin reading using fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience* 14(7):1088–1098.

Cheng, K., & Gallistel, C. R. (1986). A purely geometric module in the rat’s spatial representation. *Cognition* 23:149–178.

Cheour, M., Ceponiene, R., Lehtokoski, A., Luuk, A., Allik, J., Alho, K., & Naatanen, R. (1998). Development of language‑specific phoneme representations in the infant brain. *Nature Neuroscience* 1(5):351–353.

Cheung, H., & Chen, H. C. (2004). Early orthographic experience modifies both phonological awareness and on‑line speech processing. *Language and Cognitive Processes* 19:1–28.

Chomsky, N. (1980). *Rules and representations*. Oxford: Basil Blackwell.

––. (1986). *Knowledge of language: Its nature, origins, and use*. Westport, CT: Praeger.

Cohen, L., & Dehaene, S. (1995). Number processing in pure alexia: the effect of hemispheric asymmetries and task demands. *Neurocase* 1:121–137.

––. (2000). Calculating without reading: Unsuspected residual abilities in pure alexia. *Cognitive Neuropsychology* 17(6):563–583.

––. (2004). Specialization within the ventral stream: The case for the visual word form area. *Neuroimage* 22(1):466–476.

Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehéricy, S., Dehaene‑Lambertz, G., Hénaff, M. A., & Michel, F. (2000). The visual word form area: Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split‑brain patients. *Brain* 123:291–307.

Cohen, L., Henry, C., Dehaene, S., Martinaud, O., Lehéricy, S., Lemer, C., & Ferrieux, S. (2004). The pathophysiology of letter‑by‑letter reading. *Neuropsychologia* 42(13):1768–1780.

Cohen, L., Jobert, A., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2004). Distinct unimodal and multimodal regions for word processing in the left temporal cortex. *Neuroimage* 23(4):1256–1270.

Cohen, L., Lehéricy, S., Chochon F., Lemer, C., Rivaud, S., & Dehaene, S. (2002). Language‑specific tuning of visual cortex? Functional properties of the visual word form area. *Brain* 125(Pt 5):1054–1069.

Cohen, L., Lehéricy, S., Henry, C., Bourgeois, M., Larroque, C., Sainte‑Rose, C., Dehaene, S., & Hertz‑Pannier, L. (2004). Learning to read without a left occipital lobe: Right‑hemispheric shift of visual word form area. *Annals of Neurology* 56(6):890–894.

Cohen, L., Martinaud, O., Lemer, C., Lehéricy, S., Samson, Y., Obadia, M., Slachevsky, A., & Dehaene S. (2003). Visual word recognition in the left and right hemispheres: Anatomical and functional correlates of peripheral alexias. *Cerebral Cortex* 13:1313–1333.

Coltheart, M., & Coltheart, V. (1997). Reading comprehension is not exclusively reliant upon phonological representation. *Cognitive Neuropsychology* 14:167–175.

Coltheart, M., Davelaar, E., Jonasson, J. T., & Besner, D. (1977). Access to the internal lexicon. // Dornic, S. (Ed.), *Attention and performance* VI (c. 535–555). London: Academic Press.

Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review* 108(1):204–256.

Coqueugniot, H., Hublin, J. J., Veillon, F., Houet, F., & Jacob, T. (2004). Early brain growth in Homo erectus and implications for cognitive ability. *Nature* 431(7006):299–302.

Corballis, M. C., & Beale, I. L. (1976). *The psychology of left and right*. New York: Erlbaum.

––. (1993). Orton revisited: Dyslexia, laterality, and left‑right confusion. // Willows, D., Kruk, R. S. & Corsos, E. (Eds.), *Visual processes in reading and reading disabilities*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Corballis, M. C., Macadie, L., Crotty, A., & Beale, I. L. (1985). The naming of disoriented letters by normal and reading‑disabled children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 26(6):929–938.

Cornell, J. (1985). Spontaneous mirror‑writing in children. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 39:174–179.

Coslett, H. B., & Monsul, N. (1994). Reading with the right hemisphere: Evidence from transcranial magnetic stimulation. *Brain and Language* 46:198–211.

Coslett, H. B., & Saffran, E. M. (1989). Evidence for preserved reading in “pure alexia.” *Brain* 112:327–359.

Coslett, H. B., Saffran, E. M., Greenbaum, S., & Schwartz, H. (1993). Reading in pure alexia: The effect of strategy. *Brain* 116:21–37.

Coulmas, F. (1989). *The writing systems of the world*. Oxford: Blackwell.

Cytowic, R. E. (1998). *The man who tasted shapes*. Cambridge, MA: MIT Press.

Damasio, A. R. (1989a). The brain binds entities and events by multiregional activation from convergence zones. *Neural Computation* 1:123–132.

––. (1989b). Time‑locked multiregional retroactivation: A systems‑level proposal for the neural substrates of recall and recognition. *Cognition* 33:25–62.

Damasio, A. R., & Damasio, H. (1983). The anatomic basis of pure alexia. *Neurology* 33:1573–1583.

Damasio, H., Grabowski, T. J., Tranel, D., Hichwa, R. D., & Damasio, A. R. (1996). A neural basis for lexical retrieval. *Nature* 3 0(11 April 1996):499–505.

Danziger, E., & Pederson, E. (1998). Through the looking glass: Literacy, writing systems and mirror‑image discrimination. *Written Language and Literacy* 1:153–167.

Davidoff, J., & Warrington, E. K. (1999). The bare bones of object recognition: Implications from a case of object recognition impairment. *Neuropsychologia* 37(3):279–292.

––. (2001). A particular difficulty in discriminating between mirror images. *Neuropsychologia* 39(10):1022–1036.

de Haan, M., Johnson, M. H., & Halit, H. (2003). Development of face‑sensitive event‑related potentials during infancy: a review. *International Journal of Psychophysiology* 51(1):45–58.

DeFrancis, J. (1989). *Visible speech: The diverse oneness of writing systems*. Honolulu: University of Hawaii Press.

Dehaene, S. (1995). Electrophysiological evidence for category‑specific word processing in the normal human brain. *NeuroReport* 6:2153–2157.

––. (1997). *The number sense*. New York: Oxford University Press.

––. (2005). Evolution of human cortical circuits for reading and arithmetic: The “neuronal recycling” hypothesis. // Dehaene, S., Duhamel, J. R., Hauser, M., & Rizzolatti, G. (Eds.). *From monkey brain to human brain* (cc. 133–157). Cambridge, MA: MIT Press.

Dehaene, S., & Changeux, J. P. (2005). Ongoing spontaneous activity controls access to consciousness: A neuronal model for inattentional blindness. *PLoS Biology* 3(5):e141.

Dehaene, S., & Cohen, L. (2007). Cultural recycling of cortical maps. *Neuron* 56(2):384–398.

Dehaene, S., Cohen, L., Sigman, M., & Vinckier, F. (2005). The neural code for written words: A proposal. *Trends in Cognitive Sciences* 9(7):335–341.

Dehaene, S., Izard, V., Pica, P., & Spelke, E. (2006). Core knowledge of geometry in an Amazonian indigene group. *Science* 311:381–384.

Dehaene, S., Jobert, A., Naccache, L., Ciuciu, P., Poline, J. B., Le Bihan, D., & Cohen, L. (2004). Letter binding and invariant recognition of masked words: Behavioral and neuroimaging evidence. *Psychological Science* 15(5):307–313.

Dehaene, S., Le Clec’H, G., Poline, J. B., Le Bihan, D., & Cohen, L. (2002). The visual word form area: A prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus. *NeuroReport* 13(3):321–325.

Dehaene, S., Naccache, L., Cohen, L., Le Bihan, D., Mangin, J. F., Poline, J. B., & Riviere, D. (2001). Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming. *Nature Neuroscience* 4(7):752–758.

Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology* 20:487–506.

Dehaene‑Lambertz, G. (1997). Electrophysiological correlates of categorical phoneme perception in adults. *NeuroReport* 8(4):919–924.

Dehaene‑Lambertz, G., & Baillet, S. (1998). A phonological representation in the infant brain. *NeuroReport* 9(8):1885–1888.

Dehaene‑Lambertz, G., & Dehaene, S. (1994). Speed and cerebral correlates of syllable discrimination in infants. *Nature* 370:292–295

Dehaene‑Lambertz, G., Dehaene, S., & Hertz‑Pannier, L. (2002). Functional neuroimaging of speech perception in infants. *Science* 298(5600):2013–2015.

Déjerine, J. (1892). Contribution à l’étude anatomo‑pathologique et clinique des différentes variétés de cécité verbale. *Mémoires de la Société de Biologie* 4:61–90.

Del Cul, A., Baillet, S., & Dehaene, S. (2007). Brain dynamics underlying the nonlinear threshold for access to consciousness. *PLoS Biology* 5(10):e260.

Demb, J. B., Boynton, G. M., Best, M., & Heeger, D. J. (1998). Psychophysical evidence for a magnocellular pathway deficit in dyslexia. *Vision Research* 38(11):1555–1559.

Demb, J. B., Boynton, G. M., & Heeger, D. J. (1997). Brain activity in visual cortex predicts individual differences in reading performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 94(24):13363–13366.

––. (1998). Functional magnetic resonance imaging of early visual pathways in dyslexia. *Journal of Neuroscience* 18(17):6939–6951.

Dennett, D. (1978). *Brainstorms*. Cambridge, MA: MIT Press.

––. (2006). *Breaking the spell: Religion as a natural phenomenon*. New York: Viking.

Desimone, R., & Gross, C. G. (1979). Visual areas in the temporal cortex of the macaque. *Brain Research* 178(2–3):363–380.

Deutsch, G. K., Dougherty, R. F., Bammer, R., Siok, W. T., Gabrieli, J. D., & Wandell, B. (2005). Children’s reading performance is correlated with white matter structure measured by diffusion tensor imaging. *Cortex* 41(3):354–363.

Devlin, J. T., Jamison, H. L., Matthews, P. M., & Gonnerman, L. M. (2004). Morphology and the internal structure of words. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101(41):14984–14988.

Di Virgilio, G., & Clarke, S. (1997). Direct interhemispheric visual input to human speech areas. *Human Brain Mapping* 5:347–354.

Ding, G., Peng, D., & Taft, M. (2004). The nature of the mental representation of radicals in Chinese: A priming study. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 30(2):530–539.

Downing, P. E., Jiang, Y., Shuman, M., & Kanwisher, N. (2001). A cortical area selective for visual processing of the human body. *Science* 293(5539):2470–2473.

Eckert, M. (2004). Neuroanatomical markers for dyslexia: a review of dyslexia structural imaging studies. *Neuroscientist* 10(4):362–371.

Eckert, M. A., Leonard, C. M., Richards, T. L., Aylward, E. H., Thomson, J., & Berninger, V. W. (2003). Anatomical correlates of dyslexia: Frontal and cerebellar findings. *Brain* 126(Pt 2):482–494.

Eden, G. F., Jones, K. M., Cappell, K., Gareau, L., Wood, F. B., Zeffiro, T. A., Dietz, N. A., Agnew, J. A., & Flowers, D. L. (2004). Neural changes following remediation in adult developmental dyslexia. *Neuron* 44(3):411–422.

Eden, G. F., VanMeter, J. W., Rumsey, J. M., Maisog, J. M., Woods, R. P., & Zeffiro, T. A. (1996). Abnormal processing of visual motion in dyslexia revealed by functional brain imaging. *Nature* 382(6586):66–69.

Ehri, L. C., Nunes, S. R., Stahl, S. A., & Willows, D. M. M. (2001). Systematic phonics instruction helps students learn to read: Evidence from the National Reading Panel’s meta‑analysis. *Review of Educational Research* 71:393–447.

Ehri, L. C., Nunes, S. R., Willows, D. M., Schuster, B. V., Yaghoub‑Zadeh, Z., & Shanahan, T. (2001). Phonemic awareness instruction helps children learn to read: Evidence from the National Reading Panel’s meta‑analysis. *Reading Research Quarterly* 36:250–287.

Ehri, L. C., & Wilce, L. S. (1980). The influence of orthography on readers’ conceptualisation of the phonemic structure of words. *Applied Psycholinguistics* 1:371–385.

Eimas, P. D., Siqueland, E. R., Jusczyk, P. W., & Vigorito, J. (1971). Speech perception in infants. *Science* 171:303–306.

Ellis, A. W. (2004). Length, formats, neighbours, hemispheres, and the processing of words presented laterally or at fixation. *Brain and Language* 88(3):355–366.

Ellis, A. W., Young, A. W., & Anderson, C. (1988). Modes of word recognition in the left and right cerebral hemispheres. *Brain and Language* 35(2):254–273.

Elston, G. N., Benavides‑Piccione, R., & DeFelipe, J. (2001). The pyramidal cell in cognition: A comparative study in human and monkey. *Journal of Neuroscience* 21(17):RC163.

Fagot‑Largeault, A. (2006). *Vivre le handicap et ses prothèses*. Conference at Collège de France.

Feinberg, T., & Jones, G. (1985). Object reversals after parietal lobe infarction – a case report. *Cortex* 21:261–271.

Ferrand, L. (2001). *Cognition et Lecture: Processus de base de reconnaissance des mots écrits chez l’adulte*. Bruxelles: DeBoeck université.

Ferrand, L., & Grainger, J. (1992). Phonology and orthography in visual word recognition: Evidence from masked non‑word priming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* A 45(3):353–372.

––. (1993). The time course of orthographic and phonological code activation in the early phases of visual word recognition. *Bulletin of the Psychonomic Society* 31:119–122.

––. (1994). Effects of orthography are independent of phonology in masked form priming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* A 47(2):365–382.

Fiebach, C. J., Friederici, A. D., Muller, K., & von Cramon, D. Y. (2002). fMRI evidence for dual routes to the mental lexicon in visual word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience* 14(1):11–23.

Fiez, J. A., Balota, D. A., Raichle, M. E., & Petersen, S. E. (1999). Effects of lexicality, frequency, and spelling‑to‑sound consistency on the functional anatomy of reading. *Neuron* 24(1):205–218.

Fiez, J. A., & Petersen, S. E. (1998). Neuroimaging studies of word reading. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95(3):914–921.

Finger, S. (1994). *Origins of neuroscience: A history of explorations into brain function*. New York: Oxford University Press.

Fischer, F. W., Liberman, I. Y., & Shankweiler, D. (1978). Reading reversals and developmental dyslexia: A further study. *Cortex* 14(4):496–510.

Fiser, J., & Biederman, I. (2001). Invariance of long‑term visual priming to scale, reflection, translation, and hemisphere. *Vision Research* 41(2):221–234.

Fiset, D., Arguin, M., Bub, D., Humphreys, G. W., & Riddoch, M. J. (2005). How to make the word‑length effect disappear in letter‑by‑letter dyslexia. *Psychological Science* 16(7):535–541.

Fisher, S. E., & Francks, C. (2006). Genes, cognition and dyslexia: Learning to read the genome. *Trends in Cognitive Sciences* 10(6): 250–257.

Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, MA MIT Press.

Fox, M. D., Corbetta, M., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., & Raichle, M. E. (2006). Spontaneous neuronal activity distinguishes human dorsal and ventral attention systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(26):10046–10051.

Friederici, A. D., Opitz, B., & von Cramon, D. Y. (2000). Segregating semantic and syntactic aspects of processing in the human brain: An fMRI investigation of different word types. *Cerebral Cortex* 10(7):698–705.

Frith, U. (1985). Beneath the surface of developmental dyslexia. // Patterson, K. E., Marshall, J. C., & Coltheart, M. (Eds.), *Surface dyslexia: Cognitive and neuropsychological studies of phonological reading* (c. 301–330). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Fu, S., Chen, Y., Smith, S., Iversen, S., & Matthews, P. M. (2002). Effects of word form on brain processing of written Chinese. *Neuroimage* 17(3):1538–1548.

Gaillard, R., Del Cul, A., Naccache, L., Vinckier, F., Cohen, L., & Dehaene, S. (2006). Nonconscious semantic processing of emotional words modulates conscious access. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(19):7524–7529.

Gaillard, R., Naccache, L., Pinel, P., Clemenceau, S., Volle, E., Hasboun, D., Dupont, S., Baulac, M., Dehaene, S., Adam, C., & Cohen, L. (2006). Direct intracranial, fMRI, and lesion evidence for the causal role of left inferotemporal cortex in reading. *Neuron* 50(2):191–204.

Gaillard, W. D., Balsamo, L. M., Ibrahim, Z., Sachs, B. C., & Xu, B. (2003). fMRI identifies regional specialization of neural networks for reading in young children. *Neurology* 60(1):94–100.

Galaburda, A. M., & Livingstone, M. (1993). Evidence for a magnocellular deficit in developmental dyslexia. // Tallal, P., Galaburda, A. M., Llinas, R., & Von Euler, C. (Eds.), *Temporal information processing in the nervous system: Special reference to dyslexia and dysphasia* (c. 70–82). New York: New York Academy of Sciences.

Galaburda, A. M., LoTurco, J., Ramus, F., Fitch, R. H., & Rosen, G. D. (2006). From genes to behavior in developmental dyslexia. *Nature Neuroscience* 9(10):1213–1217.

Galaburda, A. M., Menard, M. T., & Rosen, G. D. (1994). Evidence for aberrant auditory anatomy in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 91(17):8010–8013.

Galaburda, A. M., Sherman, G. F., Rosen, G. D., Aboitiz, F., & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia: Four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology* 18(2):222–233.

Gathers, A. D., Bhatt, R., Corbly, C. R., Farley, A. B., & Joseph, J. E. (2004). Developmental shifts in cortical loci for face and object recognition. *NeuroReport* 15(10):1549–1553.

Gauthier, I., Curran, T., Curby, K. M., & Collins, D. (2003). Perceptual interference supports a non‑modular account of face processing. *Nature Neuroscience* 6(4):428–432.

Gauthier, I., Skudlarski, P., Gore, J. C., & Anderson, A. W. (2000). Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition. *Nature Neuroscience* 3(2):191–197.

Gauthier, I., Tarr, M. J., Anderson, A. W., Skudlarski, P., & Gore, J. C. (1999). Activation of the middle fusiform “face area” increases with expertise in recognizing novel objects. *Nature Neuroscience* 2(6):568–573.

Gentaz, E., Colé, P., & Bara, F. (2003). Evaluation d’entraînements multisensoriels de préparation à la lecture pour les enfants en grande section de maternelle: Une étude sur la contribution du système haptique manuel. *L’Année Psychologique* 104:561–584.

Georgiewa, P., Rzanny, R., Gaser, C., Gerhard, U. J., Vieweg, U., Freesmeyer, D., Mentzel, H. J., Kaiser, W. A., & Blanz, B. (2002). Phonological processing in dyslexic children: a study combining functional imaging and event related potentials. *Neuroscience Letters* 318(1):5–8.

Georgiewa, P., Rzanny, R., Hopf, J. M., Knab, R., Glauche, V., Kaiser, W. A., & Blanz, B. (1999). fMRI during word processing in dyslexic and normal reading children. *Neuroreport* 10(16):3459–3465.

Gergely, G., Bekkering, H., & Kiraly, I. (2002). Rational imitation in preverbal infants. *Nature* 415(6873):755.

Geschwind, N. (1965). Disconnection syndromes in animals and man. *Brain* 88:237–294.

Goigoux, R. (20 0). Apprendre à lire à l’école: Les limites d’une approche idéovisuelle. *Psychologie Française* 45(235–245).

Goodale, M. A., & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neuroscience* 15:20–25.

Goswami, U. (1986). Children’s use of analogy in learning to read: A developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology* 42:73–83.

Goswami, U., Gombert, J. E., & de Barrera, L. F. (1998). Children’s orthographic representations and linguistic transparency: Nonsense word reading in English, French, and Spanish. *Applied Psycholinguistics* 19:19–52.

Gottfried, J. A., Sancar, F., & Chatterjee, A. (2003). Acquired mirror writing and reading: Evidence for reflected graphemic representations. *Neuropsychologia* 41(1):96–107.

Gould, J. L., & Marler, P. (1987). Learning by instinct. *Scientific American* 256 (January): 74–85.

Gould, S. J. (1992). *The panda’s thumb: More reflections in natural history*. New York: W. W. Norton.

Gould, S. J., & Vrba, E. S. (1982). Exaptation: A missing term in the science of form. *Paleobiology* 8(1):4–15.

Gouteux, S., Thinus‑Blanc, C., & Vauclair, J. (2001). Rhesus monkeys use geometric and nongeometric information during a reorientation task. *Journal of Experimental Psychology: General* 130(3):505–519.

Grabowski, T. J., Damasio, H., & Damasio, A. R. (1998). Premotor and prefrontal correlates of category‑related lexical retrieval. *Neuroimage* 7(3):232–243.

Grainger, J., Granier, J. P., Farioli, F., Van Assche, E., & van Heuven, W. J. (2006). Letter position information and printed word perception: The relative‑position priming constraint. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 32(4):865–884.

Grainger, J., & Jacobs, A. M. (1996). Orthographic processing in visual word recognition: A multiple read‑out model. *Psychological Review* 103(3):518–565.

Grainger, J., & van Heuven, W. (2003). Modeling letter position coding in printed word perception. // Bonin, P. (Ed.), *The mental lexicon* (c. 1–24). New York: Nova Science Publishers.

Grainger, J., & Whitney, C. (2004). Does the huamn mnid raed wrods as a wlohe? *Trends in Cognitive Sciences* 8(2):58–59.

Grainger, J., & Ziegler, J. (2007). Cross‑code consistency effects in visual word recognition. // Grigorenko, E. L., & Naples, A. J. (Eds.), *Single‑word reading: Biological and behavioral perspectives* (c. 129–158). New York: Erlbaum.

Grill‑Spector, K., Kushnir, T., Hendler, T., Edelman, S. Itzchak, Y., & Malach, R. (1998). A sequence of object‑processing stages revealed by fMRI in the human occipital lobe. *Human Brain Mapping* 6(4):316–328.

Grill‑Spector, K., & Malach, R. (2001). fMR‑adaptation: A tool for studying the functional properties of human cortical neurons. *Acta Psychologica* (Amsterdam) 107(1–3):293–321.

Grill‑Spector, K., Sayres, R., & Ress, D. (2006). High‑resolution imaging reveals highly selective nonface clusters in the fusiform face area. *Nature Neuroscience* 9(9):1177–1185.

Grigorenko, E. L. (2003). The first candidate gene for dyslexia: Turning the page of a new chapter of research. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(20):11190–11192.

Ha Duy Thuy, D., Matsuo, K., Nakamura, K., Toma, K., Oga, T., Nakai, T., Shibasaki, H., & Fukuyama, H. (2004). Implicit and explicit processing of Kanji and Kana words and non‑words studied with fMRI. *Neuroimage* 23(3):878–889.

Habib, M. (2000). The neurological basis of developmental dyslexia: An overview and working hypothesis. *Brain* 123(Pt 12):2373–2399.

Hagoort, P., Indefrey, P., Brown, C., Herzog, H., Steinmetz, H., & Seitz R. J. (1999). The neural circuitry involved in the reading of German words and pseudowords: A PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 11(4):383–398.

Hammond, P., & Hughes, P. (1978). *Upon the pun: Dual meaning in words and pictures*. London: W. H. Allen.

Hanley, J. R., & Kay, J. (1996). Reading speed in pure alexia. *Neuropsychologia* 34(12):1165–1174.

Hannula‑Jouppi, K., Kaminen‑Ahola, N., Taipale, M., Eklund, R., Nopola‑Hemmi, J., Kaariainen, H., & Kere, J. (2005). The axon guidance receptor gene ROBO1 is a candidate gene for developmental dyslexia. *PLoS Genetics* 1(4):e50.

Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (1999). Phonology, reading acquisition, and dyslexia: Insights from connectionist models. *Psychological Review* 106(3):491–528.

––. (2004). Computing the meanings of words in reading: Cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological Review* 111(3):662–720.

Hasson, U., Harel, M., Levy, I., & Malach, R. (2003). Large‑scale mirror‑symmetry organization of human occipito‑temporal object areas. *Neuron* 37(6):1027–1041.

Hasson, U., Levy, I., Behrmann, M., Hendler, T., & Malach, R. (2002). Eccentricity bias as an organizing principle for human high‑order object areas. *Neuron* 34(3):479–490.

Haxby, J. V., Gobbini, M. I., Furey, M. L., Ishai, A., Schouten, J. L., & Pietrini, P. (2001). Distributed and overlapping representations of faces and objects in ventral temporal cortex. *Science* 293(5539):2425–2430.

Haxby, J. V., Ishai, I. I., Chao, L. L., Ungerleider, L. G., & Martin, I. I. (2000). Object‑form topology in the ventral temporal lobe: Response to I. Gauthier (2000). *Trends in Cognitive Sciences* 4(1):3–4.

Heilman, K. M., Howell, G., Valenstein, E., & Rothi, L. (1980). Mirror‑reading and writing in association with right‑left spatial disorientation. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry* 43(9):774–780.

Helenius, P., Tarkiainen, A., Cornelissen, P., Hansen, P. C., & Salmelin, R. (1999). Dissociation of normal feature analysis and deficient processing of letter‑strings in dyslexic adults. *Cerebral Cortex* 9(5):476–483.

Hermer, L., & Spelke, E. (1996). Modularity and development: The case of spatial reorientation. *Cognition* 61(3):195–232.

Houzel, J. C., Carvalho, M. L., & Lent, R. (2002). Interhemispheric connections between primary visual areas: Beyond the midline rule. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 35(12):1441–1453.

Hubbard, E. M., Arman, A. C., Ramachandran, V. S., & Boynton, G. M. (2005). Individual differences among grapheme‑color synesthetes: Brain‑behavior correlations. *Neuron* 45(6):975–985.

Humphrey, N. K., & Weiskrantz, L. (1969). Size constancy in monkeys with inferotemporal lesions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* A 21(3):225–238.

Humphreys, G. W., Evett, L. J., & Quinlan, P. T. (1990). Orthographic processing in visual word identification. *Cognitive Psychology* 22:517–560.

Hutzler, F., Ziegler, J. C., Perry, C., Wimmer, H., & Zorzi, M. (2004). Do current connectionist learning models account for reading development in different languages? *Cognition* 91(3):273–296.

Intriligator, J., Hénaff, M. A., & Michel, F. (2000). Able to name, unable to compare: The visual abilities of a posterior split‑brain patient. *NeuroReport* 11(12):2639–2642.

Iriki, A. (2005). A prototype of Homo‑Faber: A silent precursor of human intelligence in the tool‑using monkey brain. // Deheane, S., Duhamel, J. R., Hauser, M., & Rizzolatti, G. (Eds.), *From monkey brain to human brain* (c. 133–157). Cambridge, MA: MIT Press.

Ishai, A., Ungerleider, L. G., Martin, A., & Haxby, J. V. (2000). The representation of objects in the human occipital and temporal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience* 12(Suppl 2):35–51.

Ishai, A., Ungerleider, L. G., Martin, A., Schouten, J. L., & Haxby, J. V. (1999). Distributed representation of objects in the human ventral visual pathway. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96(16):9379–9384.

Ito, M., & Komatsu, H. (2004). Representation of angles embedded within contour stimuli in area V2 of macaque monkeys. *Journal of Neuroscience* 24(13):3313–3324.

Ito, M., Tamura, H., Fujita, I., & Tanaka, K. (1995). Size and position invariance of neuronal responses in monkey inferotemporal cortex. *Journal of Neurophysiology* 73:218–226.

Jacob, F. (1977). Evolution and tinkering. *Science* 196(4295):1161–1166.

Jacquemot, C., Pallier, C., Le Bihan, D., Dehaene, S., & Dupoux, E. (2003). Phonological grammar shapes the auditory cortex: A functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience* 23(29):9541–9546.

Jared, D., & Seidenberg, M. S. (1991). Does word identification proceed from spelling to sound to meaning? *Journal of Experimental Psychology: General* 120:358–394.

Jobard, G., Crivello, F., & Tzourio‑Mazoyer, N. (2003). Evaluation of the dual route theory of reading: A metanalysis of 35 neuroimaging studies. *Neuroimage* 20(2):693–712.

Kanwisher, N., McDermott, J., & Chun, M. M. (1997). The fusiform face area: A module in human extrastriate cortex specialized for face perception. *Journal of Neuroscience* 17:4302–4311.

Karmiloff‑Smith, A. (1992). *Beyond modularity*. Cambridge, MA MIT Press.

Kawai, N., & Matsuzawa, T. (2000). Numerical memory span in a chimpanzee. *Nature* 403(6765):39–40.

Kellman, P. J., & Spelke, E. S. (1983). Perception of partly occluded objects in infancy. *Cognitive Psychology* 15:483–524.

Kilgard, M. P., & Merzenich, M. M. (1998). Cortical map reorganization enabled by nucleus basalis activity. *Science* 279(5357):17 4–1718.

Kitterle, F. L., & Selig, L. M. (1991). Visual field effects in the discrimination of sine‑wave gratings. *Perception and Psychophysics* 50(1):15–18.

Klingberg, T., Hedehus, M., Temple, E., Salz, T., Gabrieli, J. D., Moseley, M. E., & Poldrack, R. A. (2000). Microstructure of temporo‑parietal white matter as a basis for reading ability: evidence from diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Neuron* 25(2) 493–500.

Klüver, H., & Bucy, P. C. (1937). Psychic blindness and other symptoms following bilateral temporal lobectomy in rhesus monkey. *American Journal of Physiology* 119:352–353.

Kolinsky, R., Morais, J., Content, A., & Cary, L. (1987). Finding parts within figures: A developmental study. *Perception* 16(3):399–407.

Kolinsky, R., Morais, J., & Verhaeghe, A. (1994). Visual separability: A study on unschooled adults. *Perception* 23(4):471–486.

Kotz, S. A., Cappa, S. F., von Cramon, D. Y., & Friederici, A. D. (2002). Modulation of the lexical‑semantic network by auditory semantic priming: an event‑related functional MRI study. *Neuroimage* 17(4):1761–1772.

Koyama, S., Kakigi, R., Hoshiyama, M., & Kitamura, Y. (1998). Reading of Japanese Kanji (morphograms) and Kana (syllabograms): A magnetoencephalographic study. *Neuropsychologia* 36(1):83–98.

Kraebel, K. S., West, R. N., & Gerhardstein, P. (2007). The influence of training views on infants’ long‑term memory for simple 3D shapes. *Developmental Psychobiology* 49(4):406–420.

Kuhl, P. K. (2004). Early language acquisition: Cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience* 5(11):831–843.

Kujala, T., Karma, K., Ceponiene, R., Belitz, S., Turkkila, P., Tervaniemi, M., & Naatanen, R. (2001). Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading‑impaired children. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98(18):10509–10514.

Kuo, W. J., Yeh, T. C., Duann, J. R., Wu, Y. T., Ho, L. T., Hung, D., Tzeng, O. J., & Hsieh, J. C. (2001). A left‑lateralized network for reading Chinese words: A 3 T fMRI study. *NeuroReport* 12(18):3997–4001.

Kuo, W. J., Yeh, T. C., Lee, C. Y., Wu, Y. T., Chou, C. C., Ho, L. T., Hung, D. L., Tzeng, O. J., & Hsieh, J. C. (2003). Frequency effects of Chinese character processing in the brain: An event‑related fMRI study. *Neuroimage* 18(3):720–730.

Lachmann, T., & Geyer, T. (2003). Letter reversals in dyslexia: Is the case really closed? A critical review and conclusions. *Psychology Science* 45:50–70.

Lambon‑Ralph, M. A., Jarvis, C., & Ellis, A. W. (1997). Life in a mirrored world: Report of a case showing mirror reversal in reading and writing and for non‑verbal materials. *Neurocase* 3:249–258.

Larson, K. (2004). *The science of word recognition*, http://www.microsoft.com/typography/ctfonts/WordRecognition.aspx.

Laufs, H., Krakow, K., Sterzer, P., Eger, E., Beyerle, A., Salek‑Haddadi, A. & Kleinschmidt, A. (2003). Electroencephalographic signatures of attentional and cognitive default modes in spontaneous brain activity fluctuations at rest. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(19):11053–11058.

Laureys, S. (2005). The neural correlate of (un)awareness: Lessons from the vegetative state. *Trends in Cognitive Sciences* 9:556–559.

Lavidor, M., Babkoff, H., & Faust, M. (2001). Analysis of standard and non‑standard visual word format in the two hemispheres. *Neuropsychologia* 39(4):430–439.

Lavidor, M., & Ellis, A. W. (2002). Word length and orthographic neighborhood size effects in the left and right cerebral hemispheres. *Brain and Language* 80:45–62.

Le Bihan, D., Urayama, S., Aso, T., Hanakawa, T., & Fukuyama, H. (2006). Direct and fast detection of neuronal activation in the human brain with diffusion MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(21):8263–8268.

Lee, C. Y., Tsai, J. L., Kuo, W. J., Yeh, T. C., Wu, Y. T., Ho, L. T., Hung, D. L., Tzeng, O. J., & Hsieh, J. C. (2004). Neuronal correlates of consistency and frequency effects on Chinese character naming: An event‑related fMRI study. *Neuroimage* 23(4):1235–1245.

Lee, K. M. (2004). Functional MRI comparison between reading ideographic and phonographic scripts of one language. *Brain and Language* 91(2):245–251.

Leff, A. P., Crewes, H., Plant, G. T., Scott, S. K., Kennard, C., & Wise, R. J. (2001). The functional anatomy of single‑word reading in patients with hemianopic and pure alexia. *Brain* 124(Pt 3):510–521.

Leppanen, P. H., Richardson, U., Pihko, E., Eklund, K. M., Guttorm, T. K., Aro, M., & Lyytinen, H. (2002). Brain responses to changes in speech sound durations differ between infants with and without familial risk for dyslexia. *Developmental Neuropsychology* 22(1):407–422.

Lerner, Y., Hendler, T., Ben‑Bashat, D., Harel, M., & Malach, R. (2001). A hierarchical axis of object processing stages in the human visual cortex. *Cerebral Cortex* 11(4):287–297.

Leroi‑Gourhan, A. (1983). *Le fil du temps*. Paris: Fayard.

––. (1993). *Gesture and speech*. Cambridge, MA: MIT Press.

Levy, I., Hasson, U., Avidan, G., Hendler, T., & Malach, R. (2001). Center‑periphery organization of human object areas. *Nature Neuroscience* 4(5):533–539.

Liberman, I. Y., Shankweiler, D., Orlando, C., Harris, K. S., & Berti, F. B. (1971). Letter confusions and reversals of sequence in the beginning reader: Implications for Orton’s theory of developmental dyslexia. *Cortex* 7(2):127–142.

Lissauer, H. (1890). Ein fall von seelenblindheit nebst einem beitrage zur theorie derselben. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten* 21:222–270.

Logothetis, N. K., Pauls, J., & Poggio, T. (1995). Shape representation in the inferior temporal cortex of monkeys. *Current Biology* 5(5):552–563.

Longtin, C.‑M., Segui, J., & Hallé, P. A. (2003). Morphological priming without morphological relationship. *Language and Cognitive Processes* 18:313–334.

Lukatela, G., Frost, S. J., & Turvey, M. T. (1998). Phonological priming by masked nonword primes in the lexical decision task. *Journal of Memory and Language* 39:666–683.

McCandliss, B. D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: Expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Sciences* 7 293–299.

McCandliss, B. D., Curran, T., & Posner, M. I. (1993). Repetition effects in processing visual words: A high density ERP study of lateralized stimuli. *Neuroscience Abstracts* 19:1807.

McCarthy, R. A., & Warrington, E. K. (1990). *Cognitive neuropsychology: A clinical introduction*. San Diego: Academic Press.

McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: I. An account of basic findings. *Psychological Review* 88:375–407.

McCloskey, M., & Rapp, B. (2000). A visually based developmental reading deficit. *Journal of Memory and Language* 43:157–181.

McCloskey, M., Rapp, B., Yantis, S., Rubin, G., Bacon, W., Dagnelie, G., Gordon, B., Aliminosa, D., Boatman, D. F., Badecker, W., Johnson, D. N., Tusa, R. J., & Palmer, E. (1995). A developmental deficit in localizing objects from vision. *Psychological Science* 6:112–117.

McConkie, G. W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception and Psychophysics* 17:578–586.

McConkie, G. W., & Zola, D. (1979). Is visual information integrated across successive fixations in reading? *Perception and Psychophysics* 25(3):221–224.

McCrory, E. J., Mechelli, A., Frith, U., & Price, C. J. (2005). More than words: A common neural basis for reading and naming deficits in developmental dyslexia? *Brain* 128(Pt 2):261–267.

McMonnies, C. W. (1992). Visuo‑spatial discrimination and mirror image letter reversals in reading. *Journal of the American Optometric Association* 63(10):698–704.

Malach, R., Levy, I., & Hasson, U. (2002). The topography of high‑order human object areas. *Trends in Cognitive Sciences* 6(4):176–184.

Mann, V. A. (1986). Phonological awareness: The role of reading experience. *Cognition* 24(1–2):65–92.

Marcus, G. F., & Berent, I. (2003). Are there limits to statistical learning? *Science* 300(5616):53–55.

Marcus, G. F., Vijayan, S., Bandi Rao, S., & Vishton, P. M. (1999). Rule learning by seven‑month‑old infants. *Science* 283(5398):77–80.

Marinkovic, K., Dhond, R. P., Dale, A. M., Glessner, M., Carr, V., & Halgren, E. (2003). Spatiotemporal dynamics of modality‑specific and supramodal word processing. *Neuron* 38(3):487–497.

Marks, L. E. (1978). *The unity of the senses*. New York: Academic Press.

Marshall, J. C., & Newcombe, F. (1973). Patterns of paralexia: A psycholinguistic approach. *Journal of Psycholinguistic Research* 2:175–199.

Martin, A., Wiggs, C. L., Ungerleider, L. G., & Haxby, J. V. (1996). Neural correlates of category‑specific knowledge. *Nature* 379:649–652.

Martinet, C., Valdois, S., & Fayol, M. (2004). Lexical orthographic knowledge develops from the beginning of literacy acquisition. *Cognition* 91(2):B11–22.

Matsuzawa, T. (1985). Use of numbers by a chimpanzee. *Nature* 315(6014):57–59.

Maurer, D., Pathman, T., & Mondloch, C. J. (2006). The shape of boubas: Sound‑shape correspondences in toddlers and adults. *Developmental Science* 9(3):316–322.

Maurer, U., Brem, S., Bucher, K., & Brandeis, D. (2005). Emerging neurophysiological specialization for letter strings. *Journal of Cognitive Neuroscience* 17(10):1532–1552.

Maurer, U., Brem, S., Kranz, F., Bucher, K., Benz, R., Halder, P., Steinhausen H. C., & Brandeis, D. (2006). Coarse neural tuning for print peaks when children learn to read. *Neuroimage* 33(2):749–758.

Maurer, U., Bucher, K., Brem, S., & Brandeis, D. (2003). Altered responses to tone and phoneme mismatch in kindergartners at familial dyslexia risk. *NeuroReport* 14(17):2245–2250.

Mayall, K., Humphreys, G. W., Mechelli, A., Olson, A., & Price, C. J. (2001). The effects of case mixing on word recognition: evidence from a PET study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 13(6):844–853.

Mayall, K., Humphreys, G. W., & Olson, A. (1997). Disruption to word or letter processing? The origins of case‑mixing effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 23(5):1275–1286.

Mazoyer, B. M., Dehaene, S., Tzourio N., Frak, V., Syrota, A., Murayama, N., Levrier, O., Salamon, G., Cohen, L., & Mehler, J. (1993). The cortical representation of speech. *Journal of Cognitive Neuroscience* 5:467–479.

Mechelli, A., Gorno‑Tempini, M. L., & Price, C. J. (2003). Neuroimaging studies of word and pseudoword reading: consistencies, inconsistencies, and limitations. *Journal of Cognitive Neuroscience* 15(2):260–271.

Mehler, J., Jusczyk, P., Lambertz, G., Halsted, N., Bertoncini, J., & Amiel‑Tison, C. (1988). A precusor of language acquisition in young infants. *Cognition* 29: 143–178.

Mello, N. K. (1965). Interhemispheric reversal of mirror‑image oblique lines following monocular training in pigeons. *Science* 148:252–254.

Mello, N. K. (1966). Interocular generalization: A study of mirror‑image reversal following monocular discrimination training in the pigeon. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior* 9(1):11–16.

––. (1967). Inter‑hemispheric comparison of visual stimuli in the pigeon. *Nature* 214(84):144–145.

Meng, H., Smith, S. D., Hager, K., Held, M., Liu, J., Olson, R. K., Pennington, B. F., DeFries, J. C., Gelernter, J., O’Reilly‑Pol, T., Somlo, S., Skudlarski, P., Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Marchione, K., Wang, Y., Paramasivam, M., LoTurco, J. J., Page, G. P., & Gruen, J. R. (2005). DCDC2 is associated with reading disability and modulates neuronal development in the brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102(47):17053–17058.

Merzenich, M. M., Jenkins, W. M., Johnston, P., Schreiner, C., Miller, S. L., & Tallal, P. (1996). Temporal processing deficits of language‑learning impaired children ameliorated by training. *Science* 271(5245):77–81.

Miozzo, M., & Caramazza, A. (1998). Varieties of pure alexia: The case of failure to access graphemic representations. *Cognitive Neuropsychology* 15:203–238.

Mishkin, M., & Pribram, K. H. (1954). Visual discrimination performance following partial ablations of the temporal lobe. I. Ventral vs. lateral. *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 47(1):14–20.

Mithen, S. (1996). *The prehistory of the mind: The cognitive origins of art, religion and science*. London: Thames & Hudson.

Miyashita, Y. (1988). Neuronal correlate of visual associative long‑term memory in the primate temporal cortex. *Nature* 335(6193):817–820.

Molko, N., Cohen, L., Mangin, J. F., Chochon, F., Lehéricy, S., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2002). Visualizing the neural bases of a disconnection syndrome with diffusion tensor imaging. *Journal of Cognitive Neuroscience* 14:629–636.

Mondloch, C. J., & Maurer, D. (2004). Do small white balls squeak? Pitch‑object correspondences in young children. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience* 4(2):133–136.

Montant, M., & Behrmann, M. (2000). Pure alexia. *Neurocase* 6 265–294.

Morais, J., Bertelson, P., Cary, L., & Alegria, J. (1986). Literacy training and speech segmentation. *Cognition* 24:45–64.

Morais, J., Cary, L., Alegria, J., & Bertelson, P. (1979). Does awareness of speech as a sequence of phones arise spontaneously? *Cognition* 7:323–331.

Morrison, R. E., & Rayner, K. (1981). Saccade size in reading depends upon character spaces and not visual angle. *Perception and Psychophysics* 30(4):395–396.

Mozer, M. C. (1987). Early parallel processing in reading: A connectionist approach. // Coltheart, M. (Ed.), *Attention and performance XII: The psychology of reading* (c. 83–104). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Naatanen, R., Lehtokoski, A., Lennes, M., Cheour, M., Huotilainen, M., Iivonen, A., Vainio, M., Alk, P., Ilmoniemi, R. J., Luuk, A., Allik, J., Sinkkonen, J., & Alho, K. (1997). Language‑specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses. *Nature* 385(6615):432–434.

Naccache, L., & Dehaene, S. (2001). The priming method: Imaging unconscious repetition priming reveals an abstract representation of number in the parietal lobes. *Cerebral Cortex* 11(10):966–974.

Naccache, L., Gaillard, R., Adam, C., Hasboun, D., Clémenceau, S., Baulac, M., S., D., & L., C. (2005). A direct intracranial record of emotions evoked by subliminal words. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102:7713–7717.

Nakamura, K., Dehaene, S., Jobert, A., Le Bihan, D., & Kouider, S. (2005). Subliminal convergence of Kanji and Kana words: Further evidence for functional parcellation of the posterior temporal cortex in visual word perception. *Journal of Cognitive Neuroscience* 17(6):954–968.

Nakamura, K., Honda, M., Okada, T., Hanakawa, T., Toma, K., Fukuyama, H., Konishi, J., & Shibasaki, H. (2000). Participation of the left posterior inferior temporal cortex in writing and mental recall of Kanji orthography: A functional MRI study. *Brain* 123(Pt 5):954–967.

Nation, K., Allen, R., & Hulme, C. (2001). The limitations of orthographic analogy in early reading development: Performance on the clue‑word task depends on phonological priming and elementary decoding skill, not the use of orthographic analogy. *Journal of Experimental Child Psychology* 80(1):75–94.

National Institute of Child Health and Human Development. (2000). *Report of the National Reading Panel. Teaching children to read: An evidence‑based assessment of the scientific research literature on reading and its implications for reading instruction (NIH Publication No.* 00–4769). Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.

Nazir, T. A., Ben‑Boutayab, N., Decoppet, N., Deutsch, A., & Frost, R. (2004). Reading habits, perceptual learning, and recognition of printed words. *Brain and Language* 88(3):294–311.

Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Dean, P. (2001). Developmental dyslexia: The cerebellar deficit hypothesis. *Trends in Neurosciences* 24(9):508–511.

Nieder, A., Diester, I., & Tudusciuc, O. (2006). Temporal and spatial enumeration processes in the primate parietal cortex. *Science* 313(5792):1431–1435.

Nieder, A., & Miller, E. K. (2004). A parieto‑frontal network for visual numerical information in the monkey. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101(19):7457–7462.

Nimchinsky, E. A., Gilissen, E., Allman, J. M., Perl, D. P., Erwin, J. M., & Hof, P. R. (1999). A neuronal morphologic type unique to humans and great apes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96(9):5268–5273.

Niogi, S. N., & McCandliss, B. D. (2006). Left lateralized white matter microstructure accounts for individual differences in reading ability and disability. *Neuropsychologia* 44(11):2178–2188.

Nobre, A. C., Allison, T., & McCarthy, G. (1994). Word recognition in the human inferior temporal lobe. *Nature* 372(6503):260–263.

Nunez, R. E., & Lakoff, G. (2000). *Where mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being*. New York: Basic Books.

Olavarria, J. F., & Hiroi, R. (2003). Retinal influences specify cortico‑cortical maps by postnatal day six in rats and mice. *Journal of Comparative Neurology* 459(2):156–172.

O’Regan, J. K. (1990). Eye movements and reading. *Reviews of Oculomotor Research* 4:395–453.

Orton, S. T. (1925). “Word‑blindness” in school children. *Archives of Neurology and Psychiatry* 14:581–615.

Orton, S. T. (1937). *Reading, writing, and speech problems in children*. New York: Norton.

Paap, K. R., Newsome, S. L., & Noel, R. W. (1984). Word shape’s in poor shape for the race to the lexicon. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 10(3):413–428.

Pacton, S., Perruchet, P., Fayol, M., & Cleeremans, A. (2001). Implicit learning out of the lab: The case of orthographic regularities. *Journal of Experimental Psychology: General* 130(3):401–426.

Pammer, K., Hansen, P. C., Kringelbach, M. L., Holliday, I., Barnes, G., Hillebrand, A., Singh, K. D., & Cornelissen, P. L. (2004). Visual word recognition: The first half second. *Neuroimage* 22(4):1819–1825.

Paracchini, S., Thomas, A., Castro, S., Lai, C., Paramasivam, M., Wang, Y., Keating, B. J., Taylor, J. M., Hacking, D. F., Scerri, T., Francks, C., Richardson, A. J., Wade‑Martins, R., Stein, J. F., Knight, J. C., Copp, A. J., Loturco, J., & Monaco, A. P. (2006). The chromosome 6p22 haplotype associated with dyslexia reduces the expression of KIAA0319, a novel gene involved in neuronal migration. *Human Molecular Genetics* 15(10):1659–1666.

Parviainen, T., Helenius, P., Poskiparta, E., Niemi, P., & Salmelin, R. (2006). Cortical sequence of word perception in beginning readers. *Journal of Neuroscience* 26(22):6052–6061.

Pascalis, O., de Haan, M., & Nelson, C. A. (2002). Is face processing species‑specific during the first year of life? *Science* 296(5571):1321–1323.

Pascalis, O., & de Schonen, S. (1994). Recognition memory in 3‑ to 4‑day‑old human neonates. *NeuroReport* 5(14):1721–1724.

Pascalis, O., Scott, L. S., Kelly, D. J., Shannon, R. W., Nicholson, E., Coleman, M., & Nelson, C. A. (2005). Plasticity of face processing in infancy. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102(14):5297–5300.

Patterson, K., & Kay, J. (1982). Letter‑by‑letter reading: Psychological descriptions of a neurological syndrome. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* A 34:411–441.

Paulesu, E., Demonet, J. F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., Cappa, S. F., Cossu, G., Habib, M., Frith, C. D., & Frith, U. (2001). Dyslexia: Cultural diversity and biological unity. *Science* 291(5511):2165–2167.

Paulesu, E., Frith, C. D., & Frackowiak, R. S. J. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature* 362:342–345.

Paulesu, E., Frith, U., Snowling, M., Gallagher, A., Morton, J., Frackowiak, R., & Frith, C. D. (1996). Is developmental dyslexia a disconnection syndrome? Evidence from PET scanning. *Brain* 119:143–157.

Paulesu, E., McCrory, E., Fazio, F., Menoncello, L., Brunswick, N., Cappa, S. F., Cotelli, M., Cossu, G., Corte, F., Lorusso, M., Pesenti, S., Gallagher, A., Perani, D., Price, C., Frith, C. D., & Frith, U. (2000). A cultural effect on brain function. *Nature Neuroscience* 3(1):91–96.

Pelli, D. G., Farell, B., & Moore, D. C. (2003). The remarkable inefficiency of word recognition. *Nature* 423(6941):752–756.

Pena, M., Maki, A., Kovacic, D., Dehaene‑Lambertz, G., Koizumi, H., Bouquet, F., & Mehler, J. (2003). Sounds and silence: An optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(20):11702–11705.

Perea, M., & Lupker, S. J. (2003). Does jugde activate COURT? Transposed‑letter similarity effects in masked associative priming. *Memory and Cognition* 31(6):829–841.

Peressotti, F., & Grainger, J. (1999). The role of letter identity and letter position in orthographic priming. *Perception and Psychophysics* 61(4):691–706.

Perfetti, C., & Bell, L. (1991). Phonemic activation during the first 40 ms of word identification: Evidence from backward masking and masked priming. *Journal of Memory and Language* 30:473–485.

Perrett, D. I., Mistlin, A. J., & Chitty, A. J. (1989). Visual neurones responsive to faces. *Trends in Neuroscience* 10:358–364.

Perry, C., Ziegler, J., & Zorzi, M. (2007). Nested incremental modeling in the development of computational theories: The CDP+ model of reading aloud. *Psychological Review* 114(2):273–315.

Petersen, S. E., Fox, P. T., Posner, M. I., Mintun, M., & Raichle, M. E. (1988). Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single‑word processing. *Nature* 331(6157):585–589.

––. (1989). Positron emission tomographic studies of the processing of single words. *Journal of Cognitive Neuroscience* 1:153–170.

Petersen, S. E., Fox, P. T., Snyder, A. Z., & Raichle, M. E. (1990). Activation of extrastriate and frontal cortical areas by visual words and word‑like stimuli. *Science* 249:1041–1044.

Petersson, K. M., Silva, C., Castro‑Caldas, A., Ingvar, M., & Reis, A. (2007). Literacy: A cultural influence on functional left‑right differences in the inferior parietal cortex. *European Journal of Neuroscience* 26(3):791–799.

Pflugshaupt, T., Nyffeler, T., von Wartburg, R., Wurtz, P., Luthi, M., Hubl, D., Gutbrod, K., Juengling, F. D., Hess, C. W., & Muri, R. M. (2007). When left becomes right and vice versa: Mirrored vision after cerebral hypoxia. *Neuropsychologia* 45(9):2078–2091.

Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science* 306(5695):499–503.

Pinel, P., Dehaene, S., Riviere, D., & Le Bihan, D. (2001). Modulation of parietal activation by semantic distance in a number comparison task. *Neuroimage* 1 (5):1013–1026.

Plaut, D. C., McClelland, J. L., Seidenberg, M. S., & Patterson, K. (1996). Understanding normal and impaired word reading: computational principles in quasi‑regular domains. *Psychological Review* 103(1):56–115.

Polk, T. A., & Farah, M. J. (2002). Functional MRI evidence for an abstract, not perceptual, word‑form area. *Journal of Experimental Psychology: General* 131(1):65–72.

Polk, T. A., Stallcup, M., Aguirre, G. K., Alsop, D. C., D’Esposito, M., Detre, J. A., & Farah, M. J. (2002). Neural specialization for letter recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience* 14(2):145–159.

Pollatsek, A., Bolozky, S., Well, A. D. & Rayner, K. (1981). Asymmetries in the perceptual span for Israeli readers. *Brain and Language* 14(1):174–180.

Posner, M. I., & McCandliss, B. D. (1999). Brain circuitry during reading. // Klein, R. M., & McMullen, P. A. (Eds.), *Converging methods for understanding reading and dyslexia* (c. 305–337). Cambridge, MA: MIT Press.

Posner, M. I., Petersen S. E., Fox, P. T., & Raichle, M. E. (1988). Localization of cognitive operations in the human brain. *Science* 240:1627–1631.

Pouratian, N., Bookheimer, S. Y., Rubino, G., Martin, N. A., & Toga, A. W. (2003). Category‑specific naming deficit identified by intraoperative stimulation mapping and postoperative neuropsychological testing: Case report. *Journal of Neurosurgery* 99(1):170–176.

Price, C. (1998). The functional anatomy of word comprehension and production. *Trends in Cognitive Sciences* 2:281–288.

Price, C. J., & Devlin, J. T. (2003). The myth of the visual word form area. *Neuroimage* 19:473–481.

Price, C. J., Gorno‑Tempini, M. L., Graham, K. S., Biggio, N., Mechelli, A., Patterson, K., & Noppeney, U. (2003). Normal and pathological reading: Converging data from lesion and imaging studies. *Neuroimage* 20(Suppl 1):S30–41.

Price, C. J., Moore, C. J., Humphreys, G. W., & Wise, R. J. S. (1997). Segregating semantic from phonological processes during reading. *Journal of Cognitive Neuroscience* 9:727–733.

Price, C. J., Wise, R. J. S., & Frackowiak, R. S. J. (1996). Demonstrating the implicit processing of visually presented words and pseudowords. *Cerebral Cortex* 6:62–70.

Priftis, K., Rusconi, E., Umilta, C., & Zorzi, M. (2003). Pure agnosia for mirror stimuli after right inferior parietal lesion. *Brain* 126(Pt 4):908–919.

Prinzmetal, W. (1990). Neon colors illuminate reading units. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 16(3):584–597.

Prinzmetal, W., Treiman, R., & Rho, S. H. (1986). How to see a reading unit. *Journal of Memory and Language* 25:461–475.

Puce, A., Allison, T., Asgari, M., Gore, J. C., & McCarthy, G. (1996). Differential sensitivity of human visual cortex to faces, letterstrings, and textures: A functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience* 16:5205–5215.

Pugh, K. R., Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fulbright, R. K., Bronen, R. A., Shankweiler, D. P., Katz, L., Fletcher, J. M., & Gore, J. C. (1996). Cerebral organization of component processes in reading. *Brain* 119(Pt 4):1221–1238.

Pulvermuller, F. (2005). Brain mechanisms linking language and action. *Nature Reviews Neuroscience* 6(7):576–582.

Quartz, S. R., & Sejnowski, T. J. (1997). The neural basis of cognitive development: A constructivist manifesto. *Behavioral and Brain Sciences* 20(4):537–556; 556–596.

Quiroga, R. Q., Reddy, L., Kreiman, G., Koch, C., & Fried, I. (2005). Invariant visual representation by single neurons in the human brain. *Nature* 435(7045):1102–1107.

Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98(2):676–682.

Raij, T., Uutela, K., & Hari, R. (2000). Audiovisual integration of letters in the human brain. *Neuron* 28(2):617–625.

Ramachandran, V. S. (2005). *The artful brain*. New York: Fourth Estate.

Ramachandran, V. S., & Hubbard E. M. (2001a). Psychophysical investigations into the neural basis of synaesthesia. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 268(1470):979–983.

Ramachandran, V. S., & Hubbard, E. M. (2001b). Synaesthesia – a window into perception, thought and language. *Journal of Consciousness Studies* 8:3–34.

Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology* 13(2):212–218.

Ramus, F. (2004). Neurobiology of dyslexia: A reinterpretation of the data. *Trends in Neurosciences* 27(12):720–726.

Ramus, F., Pidgeon, E., & Frith, U. (2003). The relationship between motor control and phonology in dyslexic children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 44(5):712–722.

Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia: Insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain* 126(Pt 4):841–865.

Rastle, K., Davis, M. H., Marslen‑Wilson, W. D., & Tyler, L. K. (2000). Morphological and semantic effects in visual word recognition: A time‑course study. *Language and Cognitive Processes* 15:507–537.

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin* 124(3):372–422.

Rayner, K., & Bertera, J. H. (1979). Reading without a fovea. *Science* 206(4417):468–469.

Rayner, K., Foorman, B. R., Perfetti, C. A., Pesetsky, D., & Seidenberg, M. S. (2001). How psychological science informs the teaching of reading. *Psychological Science* 2:31–74.

Rayner, K., Inhoff, A. W., Morrison, R. E., Slowiaczek, M. L., & Bertera, J. H. (1981). Masking of foveal and parafoveal vision during eye fixations in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 7(1):167–179.

Rayner, K., McConkie, G. W., & Zola, D. (1980). Integrating information across eye movements. *Cognitive Psychology* 12(2):206–226.

Rayner, K., & Pollatsek, A. (1989). *The psychology of reading*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Rayner, K., Well, A. D., & Pollatsek, A. (1980). Asymmetry of the effective visual field in reading. *Perception and Psychophysics* 27(6):537–544.

Read, C., Zhang, Y. F., Nie, H. Y., & Ding, B. Q. (1986). The ability to manipulate speech sounds depends on knowing alphabetic writing. *Cognition* 24(1–2):31–44.

Reicher, G. M. (1969). Perceptual recognition as a function of meaningfulness of stimulus material. *Journal of Experimental Psychology* 81:274–280.

Rey, A., Jacobs, A. M., Schmidt‑Weigand, F., & Ziegler, J. C. (1998). A phoneme effect in visual word recognition. *Cognition* 68(3):B71–80.

Rey, A., Ziegler, J. C., & Jacobs, A. M. (2000). Graphemes are perceptual reading units. *Cognition* 75(1):B1–12.

Richardson, U., Leppanen, P. H., Leiwo, M., & Lyytinen, H. (2003). Speech perception of infants with high familial risk for dyslexia differ at the age of 6 months. *Developmental Neuropsychology* 23(3):385–397.

Riddoch, M. J., & Humphreys, G. W. (1988). Description of a left‑right coding deficit in a case of constructional apraxia. *Cognitive Neuropsychology* 5:289–315.

Riesenhuber, M., & Poggio, T. (1999). Hierarchical models of object recognition in cortex. *Nature Neuroscience* 2:1019–1025

Rissman, J., Eliassen, J. C., & Blumstein S. E. (2003). An event‑related fMRI investigation of implicit semantic priming. *Journal of Cognitive Neuroscience* 15(8):1160–1175.

Robertson, L. C., & Lamb, M. R. (1991). Neuropsychological contributions to theories of part/whole organization. *Cognitive Psychology* 23(2):299–330.

Robinson, A. J., & Pascalis, O. (2004). Development of flexible visual recognition memory in human infants. *Developmental Science* 7(5):527–533.

Rodd, J. M., Davis, M. H., & Johnsrude, I. S. (2005). The neural mechanisms of speech comprehension: fMRI studies of semantic ambiguity. *Cerebral Cortex* 15(8):1261–1269.

Rodman, H. R., Scalaidhe, S. P. O., & Gross, C. G. (1993). Response properties of neurons in temporal cortical visual areas of infant monkeys. *Journal of Neurophysiology* 70:1115–1136.

Rollenhagen, J. E., & Olson, C. R. (2000). Mirror‑image confusion in single neurons of the macaque inferotemporal cortex. *Science* 287(5457):1506–1508.

Rolls, E. T. (2000). Functions of the primate temporal lobe cortical visual areas in invariant visual object and face recognition. *Neuron* 27(2):205–218.

Rossion, B., Kung, C. C., & Tarr, M. J. (2004). Visual expertise with nonface objects leads to competition with the early perceptual processing of faces in the human occipito‑temporal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101(40):14521–14526.

Rubenstein, H., Lewis, S. S., & Rubenstein, M. (1971). Evidence for phonemic coding in visual word recognition. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 10:645–657.

Rubin, G. S., & Turano, K. (1992). Reading without saccadic eye movements. *Vision Research* 32(5):895–902.

Rumelhart, D. E., & McClelland, J. L. (1982). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part 2. The contextual enhancement effect and some tests and extensions of the model. *Psychological Review* 89(1):60–94.

Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8‑month‑old infants. *Science* 274(5294):1926–1928.

Sakai, K., & Miyashita, Y. (1991). Neural organization for the long‑term memory of paired associates. *Nature* 354(6349):152–155.

Sakurai, Y., Ichikawa, Y., & Mannen, T. (2001). Pure alexia from a posterior occipital lesion. *Neurology* 56(6):778–781.

Sakurai, Y., Momose, T., Iwata, M., Sudo, Y., Ohtomo, K., & Kanazawa, I. (2000). Different cortical activity in reading of Kanji words, Kana words and Kana nonwords. *Brain Research Cognitive Brain Research* 9(1):111–115.

Sakurai, Y., Takeuchi, S., Takada, T., Horiuchi, E., Nakase, H., & Sakuta, M. (2000). Alexia caused by a fusiform or posterior inferior temporal lesion. *Journal of the Neurological Sciences* 178(1):42–51.

Salmelin, R., Service, E., Kiesila, P., Uutela, K., & Salonen, O. (1996). Impaired visual word processing in dyslexia revealed with magnetoencephalography. *Annals of Neurology* 40(2):157–162.

Sary, G., Vogels, R., & Orban, G. A. (1993). Cue‑invariant shape selectivity of macaque inferior temporal neurons. *Science* 260(5110):995–997.

Sasaki, Y., Vanduffel, W., Knutsen, T. Tyler, C., & Tootell, R. (2005). Symmetry activates extrastriate visual cortex in human and nonhuman primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102(8):3159–3163.

Sasanuma, S. (1975). Kana and Kanji processing in Japanese aphasics. *Brain and Language* 2(3):369–383.

Schmandt‑Besserat, D. (1996). *How writing came about.* Austin: University of Texas Press.

Schoenemann, P. T., Sheehan, M. J., & Glotzer, L. D. (2005). Prefrontal white matter volume is disproportionately larger in humans than in other primates. *Nature Neuroscience* 8(2):242–252.

Schoonbaert, S., & Grainger, J. (2004). Letter position coding in printed word perception: Effects of repeated and transposed letters. *Language and Cognitive Processes* 19:333–367.

Schwartz, E. L., Desimone, R., Albright, T. D., & Gross, C. G. (1983). Shape recognition and inferior temporal neurons. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 80(18):5776–5778.

Segui, J., & Grainger, J. (1990). Priming word recognition with orthographic neighbors: Effects of relative prime‑target frequency. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 16(1):65–76.

Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review* 96(4):523–568.

Seidenberg, M. S., Petersen, A., MacDonald, M. C., & Plaut, D. C. (1996). Pseudohomophone effects and models of word recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 22:48–62.

Seidenberg, M. S., Tanenhaus, M. K., Leiman, J. M., & Bienkowski, M. (1982). Automatic access of the meanings of ambiguous words in context: Some limitations of knowledge‑based processing. *Cognitive Psychology* 14:489–537.

Selfridge, O. G. (1959). Pandemonium: A paradigm for learning. // Blake, D. V., & Uttley, A. M. (Eds.), *Proceedings of the Symposium on Mechanisation of Thought Processes* (c. 511–529). London: H. M. Stationery Office.

Sere, B., Marendaz, C., & Herault, J. (2000). Nonhomogeneous resolution of images of natural scenes. *Perception* 29(12):1403–1412.

Seymour, P. H., Aro, M., & Erskine, J. M. (2003). Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology* 94(Pt 2):143–174.

Shallice, T. (1988). *From neuropsychology to mental structure*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Share, D. L. (1995). Phonological recoding and self‑teaching: Sine qua non of reading acquisition. *Cognition* 55(2):151–218; 219–226.

Share, D. L. (1999). Phonological recoding and orthographic learning: A direct test of the self‑teaching hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology* 72(2):95–129.

Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Mencl, W. E., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., Constable, R. T., Marchione, K. E., Fletcher, J. M., Lyon, G. R., & Gore, J. C. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry* 52(2):101–110.

Shaywitz, S. (2003). *Overcoming dyslexia*. New York: Random House.

Shaywitz, S. E., Escobar, M. D., Shaywitz, B. A., Fletcher, J. M., & Makuch, R. (1992). Evidence that dyslexia may represent the lower tail of a normal distribution of reading ability. *New England Journal of Medicine* 326(3):145–150.

Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Constable, R. T., Mencl, W. E., Shankweiler, D. P., Liberman A. M., Skudlarski, P., Fletcher, J. M., Katz, L., Marchione, K. E., Lacadie, C., Gatenby, C., & Gore, J. C. (1998). Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95(5):2636–2641.

Shelton, J. R., Fouch, E., & Caramazza, A. (1998). The selective sparing of body part knowledge: A case study. *Neurocase* 4:339–351.

Shuwairi, S. M., Albert, M. K., & Johnson, S. P. (2007). Discrimination of possible and impossible objects in infancy. *Psychological Science* 18(4):303–307.

Sigman, M., & Gilbert, C. D. (2000). Learning to find a shape. *Nature Neuroscience* 3(3):264–269.

Sigman, M., Pan, H., Yang, Y., Stern, E., Silbersweig, D., & Gilbert, C. D. (2005). Top‑down reorganization of activity in the visual pathway after learning a shape identification task. *Neuron* 46(5):823–835.

Silani, G., Frith, U., Demonet, J. F., Fazio, F., Perani, D., Price, C., Frith, C. D., & Paulesu, E. (2005). Brain abnormalities underlying altered activation in dyslexia: A voxel based morphometry study. *Brain* 128(Pt 10):2453–2461.

Simon, O., Mangin, J. F., Cohen, L., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2002). Topographical layout of hand, eye, calculation, and language‑related areas in the human parietal lobe. *Neuron* 33(3):475–487.

Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Bergman, E., & Papanicolaou, A. C. (2000). Cerebral mechanisms involved in word reading in dyslexic children: A magnetic source imaging approach. *Cerebral Cortex* 10(8):809–816.

Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Foorman, B. R., Castillo, E. M., & Papanicolaou, A. C. (2002). Brain mechanisms for reading words and pseudowords: An integrated approach. *Cerebral Cortex* 12(3):297–305.

Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Foorman, B. R., Mouzaki, A., & Papanicolaou, A. C. (2001). Age‑related changes in regional brain activation during phonological decoding and printed word recognition. *Developmental Neuropsychology* 19(2):191–210.

Simos, P. G., Fletcher, J. M., Bergman, E., Breier, J. I., Foorman, B. R., Castillo, E. M., Davis, R. N., Fitzgerald, M., & Papanicolaou, A. C. (2002). Dyslexia‑specific brain activation profile becomes normal following successful remedial training. *Neurology* 58(8):1203–1213.

Siok, W. T., Perfetti, C. A., Jin, Z., & Tan, L. H. (2004). Biological abnormality of impaired reading is constrained by culture. *Nature* 431(7004):71–76.

Smith, L. B. (2003). Learning to recognize objects. *Psychological Science* 14(3):244–250.

Son, J. Y., Smith, L. B., & Goldstone, R. L. (2008). Simplicity and generalization: Short‑cutting abstraction in children’s object categorizations. *Cognition* 108(3):626–638.

Southgate, V., Csibra, G., Kaufman, J., & Johnson, M. H. (2008). Distinct processing of objects and faces in the infant brain. *Journal of Cognitive Neuroscience* 20(4):741–749.

Sperber, D. (1974). Contre certains a priori anthropologiques. // Morin, E. & Piatelli‑Palmarini, M. (Eds.), *L’unité de l’homme: Invariants biologiques et universaux culturels* (c. 491–512). Paris: Le Seuil.

––. (1996). *Explaining culture: A naturalistic approach*. London: Blackwell.

Sperber, D., & Hirschfeld, L. A. (2004). The cognitive foundations of cultural stability and diversity. *Trends in Cognitive Sciences* 8:40–46.

Sperling, J. M., Prvulovic, D., Linden, D. E., Singer, W., & Stirn, A. (2006). Neuronal correlates of colour‑graphemic synaesthesia: an fMRI study. *Cortex* 42(2):295–303.

Spoehr, K. T., & Smith, E. E. (1975). The role of orthographic and phonotactic rules in perceiving letter patterns. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 104(1):21–34.

Sprenger‑Charolles, L., & Siegel, L. (1997). A longitudinal study of the effects of syllabic structure on the development of reading and spelling skills in French. *Applied Psycholinguistics* 18:485–505.

Sprenger‑Charolles, L., Siegel, L. S., & Bonnet, P. (1998). Reading and spelling acquisition in French: The role of phonological mediation and orthographic factors. *Journal of Experimental Child Psychology* 68(2):134–165.

Stein, J. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia* 7(1):12–36.

Streifler, M., & Hofman, S. (1976). Sinistrad mirror writing and reading after brain concussion in a bi‑systemic (oriento‑occidental) polyglot. *Cortex* 12:356–364.

Stuart, M. (1990). Processing strategies in a phoneme deletion task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* A 42:305–327.

Swinney, D. A., Onifer, W., Prather, P., & Hirshkowitz, M. (1979). Semantic facilitation across sensory modalities in the processing of individual words and sentences. *Mem Cognit* 7(3):159–165.

Taft, M. (1994). Interactive activation as a framework for understanding morphological processing. *Language and Cognitive Processes* 9:271–294.

Tagamets, M. A., Novick, J. M., Chalmers, M. L., & Friedman, R. B. (2000). A parametric approach to orthographic processing in the brain: An fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 12(2):281–297.

Tallal, P., & Gaab, N. (2006). Dynamic auditory processing, musical experience and language development. *Trends in Neurosciences* 29(7):382–390.

Tamura, H., & Tanaka, K. (2001). Visual response properties of cells in the ventral and dorsal parts of the macaque inferotemporal cortex. *Cerebral Cortex* 11(5):384–399.

Tan, L. H., Liu, H. L., Perfetti, C. A., Spinks, J. A., Fox, P. T., & Gao, J. H. (2001). The neural system underlying Chinese logograph reading. *Neuroimage* 13(5):836–846.

Tan, L. H., Spinks, J. A., Gao, J. H., Liu, H. L., Perfetti, C. A., Xiong, J., Stofer, K. A., Pu, Y., Liu, Y., & Fox, P. T. (2000). Brain activation in the processing of Chinese characters and words: A functional MRI study. *Human Brain Mapping* 10(1):16–27.

Tanaka, K. (1996). Inferotemporal cortex and object vision. *Annual Review of Neuroscience* 19:109–139.

––. (2003). Columns for complex visual object features in the inferotemporal cortex: Clustering of cells with similar but slightly different stimulus selectivities. *Cerebral Cortex* 13(1):90–99.

Tanaka, M., Tomonaga, M., & Matsuzawa, T. (2003). Finger drawing by infant chimpanzees (Pan troglodytes). *Animal Cognition* 6(4):245–251.

Tarkiainen, A., Cornelissen, P. L., & Salmelin, R. (2002). Dynamics of visual feature analysis and object‑level processing in face versus letter‑string perception. *Brain* 125(Pt 5):1125–1136.

Tarkiainen, A., Helenius, P., Hansen, P. C., Cornelissen, P. L., & Salmelin, R. (1999). Dynamics of letter string perception in the human occipitotemporal cortex. *Brain* 122(Pt 11):2119–2132.

Tarr, M. J., & Gauthier, I. (2000). FFA: A flexible fusiform area for subordinate‑level visual processing automatized by expertise. *Nature Neuroscience* 3(8):764–769.

Tarr, M. J., & Pinker, S. (1989). Mental rotation and orientation‑dependence in shape recognition. *Cognitive Psychology* 21(2):233–282.

Temple, E., Deutsch, G. K., Poldrack, R. A. Miller, S. L., Tallal, P., Merzenich, M. M., & Gabrieli, J. D. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(5):2860–2865.

Temple, E., Poldrack, R. A. Protopapas, A., Nagarajan, S., Salz, T., Tallal, P., Merzenich, M. M., & Gabrieli, J. D. (2000). Disruption of the neural response to rapid acoustic stimuli in dyslexia: Evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 97(25):13907–13912.

Temple, E., Poldrack, R. A., Salidis, J., Deutsch, G. K., Tallal, P., Merzenich, M. M., & Gabrieli, J. D. (2001). Disrupted neural responses to phonological and orthographic processing in dyslexic children: an fMRI study. *NeuroReport* 12(2):299–307.

Terepocki, M., Kruk, R. S., & Willows, D. M. (2002). The incidence and nature of letter orientation errors in reading disability. *Journal of Learning Disabilities* 35(3):214–233.

Thompson‑Schill, S. L., D’Esposito, M., & Kan, I. P. (1999). Effects of repetition and competition on activity in left prefrontal cortex during word generation. *Neuron* 23(3):513–522.

Thorpe, S., Fize, D., & Marlot, C. (1996). Speed of processing in the human visual system. *Nature* 381(6582):520–522.

Tokunaga, H., Nishikawa, T., Ikejiri, Y., Nakagawa, Y., Yasuno, F., Hashikawa, K., Nishimura, T., Sugita, Y., & Takeda, M. (1999). Different neural substrates for Kanji and Kana writing: a PET study. *NeuroReport* 10(16):3315–3319.

Tomasello, M. (2000a). *The cultural origins of human cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

––. (2000b). Culture and cognitive development. *Current Directions in Psychological Science* 9:37–40.

Tomasello, M., Carpenter, M., Call, J., Behne, T., & Moll, H. (2005). Understanding and sharing intentions: The origins of cultural cognition. *Behavioral and Brain Sciences* 28(5):675–691; 691–735.

Tomasello, M., Strosberg, R., & Akhtar, N. (1996). Eighteen‑month‑old children learn words in non‑ostensive contexts. *Journal of Child Language* 23(1):157–176.

Torgesen, J. K. (2005). Recent discoveries on remedial interventions for children with dyslexia. // Snowling, M. J. & Hulme, C. (Eds.), *The science of reading: A handbook* (c. 521–537). Oxford: Blackwell.

Tsao, D. Y., Freiwald, W. A., Tootell, R. B., & Livingstone, M. S. (2006). A cortical region consisting entirely of face‑selective cells. *Science* 311(5761):670–674.

Tsunoda, K., Yamane, Y., Nishizaki, M., & Tanifuji, M. (2001). Complex objects are represented in macaque inferotemporal cortex by the combination of feature columns. *Nature Neuroscience* 4(8):832–838.

Turing, A. M. (1952). The chemical basis of morphogenesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 237:37–72.

Turkeltaub, P. E., Flowers, D. L., Verbalis, A., Miranda, M., Gareau, L., & Eden, G. F. (2004). The neural basis of hyperlexic reading: an FMRI case study. *Neuron* 41(1):11–25.

Turkeltaub, P. E., Gareau, L., Flowers, D. L., Zeffiro, T. A., & Eden, G. F. (2003). Develop ment of neural mechanisms for reading. *Nature Neuroscience* 6(7):767–773.

Turnbull, O. H. (1997). A double dissociation between knowledge of object identity and object orientation. *Neuropsychologia* 35:567–570.

Turnbull, O. H., Beschin, N., & Della Sala, S. (1997). Agnosia for object orientation: Implications for theories of object recognition. *Neuropsychologia* 35(2):153–163.

Turnbull, O. H., & McCarthy, R. A. (1996). Failure to discriminate between mirror‑image objects: A case of viewpoint‑independent object recognition? *Neurocase* 2:63–72.

Tzourio‑Mazoyer, N., De Schonen, S., Crivello, F., Reutter, B., Aujard, Y., & Mazoyer, B. (2002). Neural correlates of woman face processing by 2‑month‑old infants. *Neuroimage* 15(2):454–4 1.

Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems. // Ingle, D. J., Goodalem M. A., & Mansfield, R. J. (Eds.), *Analysis of visual behavior* (c. 549–586). Cambridge MA: MIT Press.

Valdois, S., Bosse, M. L., & Tainturier, M. J. (2004). The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: Review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia* 10(4):339–363.

van Atteveldt, N., Formisano, E., Goebel, R., & Blomert, L. (2004). Integration of letters and speech sounds in the human brain. *Neuron* 43(2):271–282.

Van Essen, D. C., Lewis, J. W., Drury, H. A., Hadjikhani, N., Tootell, R. B., Bakircioglu, M., & Miller, M. I. (2001). Mapping visual cortex in monkeys and humans using surface‑based atlases. *Vision Research* 41(10–11):1359–1378.

Van Orden, G. C., Johnston, J. C., & Hale, B. L. (1988). Word identification in reading proceeds from spelling to sound to meaning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 14(3):371–386.

Vandenberghe, R., Nobre, A. C., & Price, C. J. (2002). The response of left temporal cortex to sentences. *Journal of Cognitive Neuroscience* 14(4):550–560.

Vandenberghe, R., Price, C., Wise, R., Josephs, O., & Frackowiak, R. S. (1996). Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures. *Nature* 383(6597):254–256.

VanRullen, R., & Thorpe, S. J. (2002). Surfing a spike wave down the ventral stream. *Vision Research* 42(23):2593–2615.

Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 45(1):2–40.

Vinckenbosch, E., Robichon, F., & Eliez, S. (2005). Gray matter alteration in dyslexia: Converging evidence from volumetric and voxel‑by‑voxel MRI analyses. *Neuropsychologia* 43(3):324–331.

Vinckier, F., Dehaene, S., Jobert, A., Dubus, J. P., Sigman, M., & Cohen, L. (2007). Hierarchical coding of letter strings in the ventral stream: Dissecting the inner organization of the visual word‑form system. *Neuron* 55(1):143–156.

Vinckier, F., Naccache, L., Papeix, C., Forget, J., Hahn‑Barma, V., Dehaene, S., & Cohen, L. (2006). “What” and “where” in word reading: Ventral coding of written words revealed by parietal atrophy. *Journal of Cognitive Neuroscience* 18(12):1998–2012.

Vogels, R., & Biederman, I. (2002). Effects of illumination intensity and direction on object coding in macaque inferior temporal cortex. *Cerebral Cortex* 12(7):756–766.

Vogels, R., Biederman, I., Bar, M., & Lorincz, A. (2001). Inferior temporal neurons show greater sensitivity to nonaccidental than to metric shape differences. *Journal of Cognitive Neuroscience* 13(4):444–453.

Vuilleumier, P., Henson, R. N., Driver, J., & Dolan, R. J. (2002). Multiple levels of visual object constancy revealed by event‑related fMRI of repetition priming. *Nature Neuroscience* 5(5):491–499.

Wade, J. B., & Hart, R. P. (1991). Mirror phenomena in language and nonverbal activities – a case report. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology* 13(2):299–308.

Wallin, N. L., Merker, B., & Brown, S. (2000). *The origins of music*. Cambridge, MA: MIT Press.

Walsh, V., & Butler, S. R. (19 6). The effects of visual cortex lesions on the perception of rotated shapes. *Behavioural Brain Research* 76(1–2):127–142.

Wang, S. H., & Baillargeon, R. (2008). Detecting impossible changes in infancy: a three‑system account. *Trends in Cognitive Sciences* 12(1):17–23.

Warrington, E. K., & Davidoff, J. (2000). Failure at object identification improves mirror image matching. *Neuropsychologia* 38(9):1229–1234.

Warrington, E. K., & Shallice, T. (1980). Word‑form dyslexia. *Brain* 103:99–112.

––. (1984). Category‑specific semantic impairments. *Brain* 107:829–854.

Washburn, D. A., & Rumbaugh, D. M. (1991). Ordinal judgments of numerical symbols by macaques (Macaca mulatta). *Psychological Science* 2:190–193.

Weekes, B. S. (1997). Differential effects of number of letters on word and nonword naming latency. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* A 50:439–456.

Weiskrantz, L., & Saunders, R. C. (1984). Impairments of visual object transforms in monkeys. *Brain* 107(Pt 4):1033–1072.

Werker, J. F., & Tees, R. C. (1984). Cross‑language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behavior and Development* 7:49–63.

White, S., Milne, E., Rosen, S., Hansen, P., Swettenham, J., Frith, U., & Ramus, F. (2006). The role of sensorimotor impairments in dyslexia: A multiple case study of dyslexic children. *Developmental Science* 9(3):237–255; 265–239.

Whiten, A., Goodall, J., McGrew, W. C., Nishida, T., Reynolds, V., Sugiyama, Y., Tutin, C. E., Wrangham, R. W., & Boesch, C. (1999). Cultures in chimpanzees. *Nature* 399(6737):682–685.

Whitney, C. (2001). How the brain encodes the order of letters in a printed word: The SERIOL model and selective literature review. *Psychonomic Bulletin and Review* 8(2):221–243.

Wilson, A. J., Dehaene, S., Pinel, P., Revkin, S. K., Cohen, L., & Cohen, D. (2006). Principles underlying the design of “The Number Race,” an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions* 2(1):19.

Wilson, E. O. (1998). *Consilience: The unity of knowledge*. New York: Knopf.

Wolff, P. H., & Melngailis, I. (1996). Reversing letters and reading transformed text in dyslexia: A reassessment. *Reading and Writing* 8:341–355.

Wong, A. C., Gauthier, I., Woroch, B., DeBuse, C., & Curran, T. (2005). A early electro‑physiological response associated with expertise in letter perception. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience* 5(3):306–318.

Wydell, T. N., & Butterworth, B. (1999). A case study of an English‑Japanese bilingual with monolingual dyslexia. *Cognition* 70(3):273–305.

Xu, B., Grafman, J., Gaillard, W. D., Ishii, K., Vega‑Bermudez, F., Pietrini, P., Reeves‑Tyer, P., Di Camillo, P., & Theodore, W. (2001). Conjoint and extended neural networks for the computation of speech codes: The neural basis of selective impairment in reading words and pseudowords. *Cerebral Cortex* 11(3):267–277.

Yoncheva, Y. N., Blau, V. C., Maurer, U., & McCandliss, B. D. (2006). *Strategic focus during learning impacts the neural basis of expertise in reading*. Association for Psychologica Science Convention, New York, May 25–28.

Zali, A., & Berthier, A. (Eds.). (1997). *L’aventure des écritures: Naissances*. Paris: Bibliothèque nationale de France.

Zeki, S. (2000). *Inner vision: An exploration of art and the brain*. New York: Oxford University Press.

Ziegler, J. C., & Goswami, U. (2005). Reading acquisition, developmental dyslexia, and skilled reading across languages: a psycholinguistic grain size theory. *Psychological Bulletin* 131(1):3–29.

Zoccolotti, P., De Luca, M., Di Pace, E., Gasperini, F., Judica, A., & Spinelli, D. (2005). Word length effect in early reading and in developmental dyslexia. *Brain and Language* 93(3):369–373.

Zorzi, M., Houghton, G., & Butterworth, B. (1998). Two routes or one in reading aloud? A connectionist dual‑process model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 24:1131–1161.

###### Издания, переведенные на русский язык

Буайе П. Объясняя религию. – М.: Альпина нон‑фикшн, 2018.

Докинз Р. Слепой часовщик. – М.: Corpus, 2015.

Докинз Р. Эгоистичный ген. – М.: Corpus, 2013.

Леви‑Стросс К. Структурная антропология. – М.: АСТ, 2011.

Мангуэль А. История чтения. – СПб: Издательство Ивана Лимбаха, 2020.

Пинкер С. Чистый лист. – М.: Альпина нон‑фикшн, 2019.

Хомский Н. Язык и проблемы знания. – Благовещенск: БГК им. И. А. Бодуэна Де Куртенэ, 1999.

## Перечень иллюстраций

Рисунки **1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 2.2, 2.4, 2.6, 2.15, 2.20, 3.1, 3.8, 3.9, 4.1, 4.2, 5.2, 5.3, 7.1** (нижний), **7.2, 7.3, 7.5** (верхний), **8.2** (верхний), а также анатомическая иллюстрация в начале книги созданы автором.

**Рис. 2.1:** Déjerine, J. (1892). Contribution à l’étude anatomo‑pathologique et clinique des différentes variétés de cécité verbale. *Mémoires de la Société de Biologie* 4: 61–90;

Cohen, L., Martinaud, O., Lemer, C., Lehéricy, S., Samson, Y., Obadia, M., Slachevsky, A., & Dehaene, S. (2003). Visual word recognition in the left and right hemispheres: Anatomical and functional correlates of peripheral alexias. *Cerebral Cortex* 13: 1313–1333 (рис. 4 и 7). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press.

**Рис 2.3:** любезно предоставлен Майклом Познером и Марком Райхле.

**Рис. 2.4:** Dehaene, S., Le Clec, ’H. G., Poline, J. B., Le Bihan, D., & Cohen, L. (2002). The visual word form area: a prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus. *Neuroreport* 13(3): 321–325. Воспроизведено с разрешения Wolters Kluwer/Lippincott, Williams & Wilkins.

**Рис. 2.7:** Puce, A., Allison, T., Asgari, M., Gore, J. C., & McCarthy, G. (1996). Differential sensitivity of human visual cortex to faces, letter strings, and textures: a functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience* 16: 5205–5215 (рис. 5, с. 5210; адаптирован). Воспроизведено с разрешения Society for Neuroscience.

**Рис. 2.8:** Tarkiainen, A., Cornelissen, P. L., & Salmelin, R. (2002). Dynamics of visual feature analysis and object‑level processing in face versus letter‑string perception. *Brain* 125(Pt 5): 1125–1136 (рис. 6 и 7; адаптированы). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press.

**Рис. 2.9:** Allison, T., Puce, A., Spencer, D. D., & McCarthy, G. (1999). Electrophysiological studies of human face perception. I: Potentials generated in occipitotemporal cortex by face and non‑face stimuli. *Cerebral Cortex* 9(5): 415–430 (рис. 1, 4 и 6; адаптированы). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press.

**Рис. 2.10:** Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehéricy, S., Dehaene‑Lambertz, G., Hénaff, M. A., & Michel, F. (2000). The visual word form area: Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split‑brain patients. *Brain* 123: 291–307 (рис. 5 и 6; адаптированы). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press.

**Рис. 2.11:** Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehéricy, S., Dehaene‑Lambertz, G., Hénaff, M. A., & Michel, F. (2000). The visual word form area: Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split‑brain patients. *Brain* 123: 2 1–307 (рис. 1, 4 и 5; адаптированы). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press;

Molko, N., Cohen, L., Mangin, J. F., Chochon, F., Lehéricy, S., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2002). Visualizing the neural bases of a disconnection syndrome with diffusion tensor imaging. *Journal of Cognitive Neuroscience* 14: 629–636 (рис. 1 и 3; адаптированы). Воспроизведено с разрешения MIT Press.

**Рис. 2.12:** Dehaene, S., Naccache, L., Cohen, L., Bihan, D. L., Mangin, J. F., Poline, J. B., & Riviere, D. (2001). Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming. *Nature Neuroscience* 4(7): 752–758 (рис. 4 и 5; адаптированы). Воспроизведено с разрешения Nature Group.

**Рис. 2.13:** Dehaene, S., Jobert, A., Naccache, L., Ciuciu, P., Poline, J. B., Le Bihan, D., & Cohen, L. (2004). Letter binding and invariant recognition of masked words: behavioral and neuroimaging evidence. *Psychological Science* 15(5): 307–313 (рис. 1; адаптирован).

**Рис. 2.14:** Cohen, L., Lehéricy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S., & Dehaene, S. (2002). Language‑specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain* 125(Pt 5): 1054–1069 (рис. 4; адаптирован). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press;

Tarkiainen, A., Helenius, P., Hansen, P. C., Cornelissen, P. L., & Salmelin, R. (1999). Dynamics of letter string perception in the human occipitotemporal cortex. *Brain* 122(Pt 11): 2119–2132 (рис. 4; адаптирован). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press.

**Рис. 2.16:** Catani, M., Jones, D. K., Donato, R., & Ffytche, D. H. (2003). Occipitotemporal connections in the human brain. *Brain* 126(Pt 9): 2093–2107 (рис. 5 и 8; адаптированы). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press.

**Рис. 2.17:** Marinkovic, K., Dhond, R. P., Dale, A. M., Glessner, M., Carr, V., & Halgren, E. (2003). Spatiotemporal dynamics of modality‑specific and supramodal word processing. *Neuron* 38(3): 487–497 (рис. 1; адаптирован). Воспроизведено с разрешения Elsevier.

**Рис. 2.18:** Jobard, G., Crivello, F., & Tzourio‑Mazoyer, N. (2003). Evaluation of the dual route theory of reading: a metanalysis of 35 neuroimaging studies. *Neuroimage* 20(2): 693–712 (рис. 5; адаптирован). Воспроизведено с разрешения Elsevier.

**Рис. 2.19**: van Atteveldt, N., Formisano, E., Goebel, R., & Blomert, L. (2004). Integration of letters and speech sounds in the human brain. *Neuron* 43(2): 271–282 (рис. 1; адаптирован). Воспроизведено с разрешения Elsevier.

**Рис. 3.2:** Tamura, H., & Tanaka, K. (2001). Visual response properties of cells in the ventral and dorsal parts of the macaque inferotemporal cortex. *Cerebral Cortex* 11(5): 384–399 (рис. 2 и 3; адаптированы). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press.

**Рис. 3.3:** Tanaka, K. (2003). Columns for complex visual object features in the inferotemporal cortex: clustering of cells with similar but slightly different stimulus selectivities. *Cerebral Cortex* 13(1): 90–99 (рис. 6, с. 96; адаптирован). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press.

**Рис. 3.4:** Booth, M., & Rolls, E. (1998). View‑invariant representations of familiar objects by neurons in the inferior temporal visual cortex. *Cerebral Cortex* 8(6): 510–523 (рис. 1 и 3; адаптированы). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press.

**Рис. 3.5:** Rolls, E. T. (2000). Functions of the primate temporal lobe cortical visual areas in invariant visual object and face recognition. *Neuron* 27(2): 205–218 (рис. 1 и 5; адаптированы). Воспроизведено с разрешения Elsevier.

**Рис. 3.6:** Tanaka, K. (2003). Columns for complex visual object features in the inferotemporal cortex: clustering of cells with similar but slightly different stimulus selectivities*. Cerebral Cortex* 13(1): 90–99 (рис. 1 и 7; адаптированы). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press.

**Рис. 3.7:** Biederman, I. (1987). Recognition‑by‑components: A theory of human image understanding. *Psychological Review* 94: 115–147 (адаптирован). Воспроизведено с разрешения American Psychological Association.

**Рис. 3.10:** Hasson, U., Levy, I., Behrmann, M., Hendler, T., & Malach, R. (2002). Eccentricity bias as an organizing principle for human high‑order object areas. *Neuron* 34(3): 479–490 (рис. 2 и 4; адаптированы). Воспроизведено с разрешения Elsevier.

**Рис. 3.11:** Cohen, L., Lehéricy, S., Henry, C., Bourgeois, M., Larroque, C., Sainte‑Rose, C., Dehaene, S., & Hertz‑Pannier, L. (2004). Learning to read without a left occipital lobe: right‑hemispheric shift of visual word form area. *Annals of Neurology* 56(6): 890–894 (рис. 1 и 2).

**Рис. 4.3:** www.wam.umd.edu/~rfradkin/alphapage.html, с разрешения Роберта Фрадкина.

**Рис. 5.1:** любезно предоставлен Эдом Хаббардом.

**Рис. 6.1. (верхний левый):** любезно предоставлен Эральдо Паулесу.

**Рис. 6.1. (верхний правый):** Paulesu, E., Demonet, J. F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., Cappa, S. F., Cossu, G., Habib, M., Frith, C. D., & Frith, U. (2001). Dyslexia: cultural diversity and biological unity. *Science* 291(5511): 2165–2167 (рис. 3; адаптирован). Воспроизведено с разрешения American Association for the Advancement of Science (AAAS).

**Рис. 6.1. (в середине):** Silani, G., Frith, U., Demonet, J. F., Fazio, F., Perani, D., Price, C., Frith, C. D., & Paulesu, E. (2005). Brain abnormalities underlying altered activation in dyslexia: a voxel based morphometry study. *Brain* 128(Pt 10): 2453–2461 (рис. 3; адаптирован). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press.

**Рис. 6.1. (нижний левый и нижний правый):** любезно предоставлены Альбертом Галабурда.

**Рис. 6.2:** Klingberg, T., Hedehus, M., Temple, E., Salz, T., Gabrieli, J. D., Moseley, M. E., & Poldrack, R. A. (2000). Microstructure of temporo‑parietal white matter as a basis for reading ability: evidence from diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Neuron* 25(2): 493–500 (рис. 1а; адаптирован). Воспроизведено с разрешения Elsevier;

Beaulieu, C., Plewes, C., Paulson, L. A., Roy, D., Snook, L., Concha, L., & Phillips, L. (2005). Imaging brain connectivity in children with diverse reading ability. *Neuroimage* 25(4): 1266–1271(рис. 3а и 4а; адаптированы). Воспроизведено с разрешения Elsevier.

**Рис. 6.3:** Temple, E., Deutsch, G. K., Poldrack, R. A., Miller, S. L., Tallal, P., Merzenich, M. M., & Gabrieli, J. D. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA, 100(5): 2860–2865 (рис. 1; адаптирован). Copyright 2003 National Academy of Sciences, USA.

**Рис. 7.1. (верхний):** Walsh, V., & Butler, S. R. (1996). The effects of visual cortex lesions on the perception of rotated shapes. *Behavioral Brain Research* 76(1–2): 127–142 (адаптирован). Воспроизведено с разрешения Elsevier.

**Рис. 7.4:** Logothetis, N. K., & Pauls, J. (1995). Psychophysical and physiological evidence for viewer‑centered object representations in the primate. *Cerebral Cortex* 5(3): 270–288 (адаптирован). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press.

**Рис. 7.5. (нижний):** Houzel, J. C., Carvalho, M. L., & Lent, R. (2002). Interhemispheric connections between primary visual areas: beyond the midline rule. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 35(12): 1441–1453 (рис. 3; адаптирован). Воспроизведено с разрешения издателя.

**Рис. 7.6:** Turnbull, O. H., Beschin, N., & Della Sala, S. (1997). Agnosia for object orientation: implications for theories of object recognition. *Neuropsychologia* 35(2): 153–163 (рис. 6 и 7; адаптированы). Воспроизведено с разрешения Elsevier.

**Рис. 7.7:** Gottfried, J. A., Sancar, F., & Chatterjee, A. (2003). Acquired mirror writing and reading: evidence for reflected graphemic representations. *Neuropsychologia*, 41(1): 96–107 (рис. 1; адаптирован). Воспроизведено с разрешения Elsevier.

**Рис. 7.8:** McCloskey, M., & Rapp, B. (2000). A visually based developmental reading deficit. *Journal of Memory and Language* 43: 157–181 (табл. 2 и рис. 1; адаптированы). Воспроизведено с разрешения Elsevier;

McCloskey, M., Rapp, B., Yantis, S., Rubin, G., Bacon, W., Dagnelie, G., Gordon, B., Aliminosa, D., Boatman, D. F., Badecker, W., Johnson, D. N., Tusa, R. J., & Palmer, E. (1995). A developmental deficit in localizing objects from vision. *Psychological Science* 6: 112–117.

**Рис. 8.1. (левый):** Tanaka, M., Tomonaga, M., & Matsuzawa, T. (2003). Finger drawing by infant chimpanzees (Pan troglodytes). *Animal Cognition* 6(4): 245–251 (адаптирован). Воспроизведено с разрешения Springer Science+Business Media.

**Рис. 8.1. (правый):** воспроизведен с разрешения http://www.great‑apes.com, © Canadian Ape Alliance.

**Рис. 8.2. (нижний):** Goldman‑Rakic, P. S. (1988). Topography of cognition: Parallel distributed networks in primate association cortex. *Annual Review of Neuroscience* 11: 137–156 (рис. 3; адаптирован);

Catani, M., & Ffytche, D. H. (2005). The rises and falls of disconnection syndromes. *Brain* 128(Pt 10): 2224–2239 (рис. 1; адаптирован). Воспроизведено с разрешения Oxford University Press.

###### \* \* \*

###### 

1. Перевод А. Косе. (*Прим. перев*.) [↑](#footnote-ref-1)
2. Набоков В. Лолита. – М.: Эксмо‑Пресс, 1998. (*Прим. перев*.) [↑](#footnote-ref-2)
3. Плодородный полумесяц – условное название региона на Ближнем Востоке, охватывающего территорию Леванта и Месопотамии. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-3)
4. Уильям Пейли (1743–1805) – английский философ, отстаивавший разумный замысел в природе. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-4)
5. Стивен Джей Гулд (1941–2002) – известный американский палеонтолог, биолог‑эволюционист. (*Прим. перев*.) [↑](#footnote-ref-5)
6. Gould, 1992. [↑](#footnote-ref-6)
7. Dawkins, 1996. (Русс. пер. см. Докинз, Р. Слепой часовщик. М.: Corpus, 2015.) [↑](#footnote-ref-7)
8. Barkow, Cosmides, & Tooby, 1992; Pinker, 2002. (Русс. пер. см. Пинкер, С. Чистый лист. М.: Альпина нон фикшн, 2019.) [↑](#footnote-ref-8)
9. Quartz & Sejnowski, 1997. [↑](#footnote-ref-9)
10. Верхний Ист‑Сайд (*англ.* Upper East Side) – квартал в Манхэттене; один из наиболее дорогих и престижных жилых районов Нью‑Йорка. (*Прим. перев*.) [↑](#footnote-ref-10)
11. Принцип антропологии, который предполагает отказ от сравнительного анализа культур и признает все культуры равными. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-11)
12. Changeux, 1983. [↑](#footnote-ref-12)
13. Концепция, согласно которой человек при появлении на свет не имеет врожденного ресурса знания – он получает его из опыта и чувственного восприятия окружающего мира. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-13)
14. Переработка. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-14)
15. Мангуэль А. История чтения // А. Мангуэль; *пер. с англ.* М. Юнгер. – Екатеринбург: У‑Фактория, 2008. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-15)
16. Элементарная частица электромагнитного излучения (света). *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-16)
17. Rayner & Bertera, 1979. [↑](#footnote-ref-17)
18. Rayner, 1998. [↑](#footnote-ref-18)
19. Sere, Marendaz, & Herault, 2000. [↑](#footnote-ref-19)
20. Сэмюэл Джонсон (1709–1784) – английский литературный критик, лексикограф и поэт эпохи Просвещения. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-20)
21. Morrison & Rayner, 1981; O’Regan, 1990. [↑](#footnote-ref-21)
22. Декарт Р. Метафизические размышления / Р. Декарт. Сочинения в 2 т. – М.: Мысль, 1994. – Т. 2. (*Прим. перев*.) [↑](#footnote-ref-22)
23. McConkie & Rayner, 1975. [↑](#footnote-ref-23)
24. Rayner, Well, & Pollatsek, 1980; Rayner, Inhoff, Morrison, Slowiaczek, & Bertera, 1981. Общий обзор см. Rayner, 1998. [↑](#footnote-ref-24)
25. Pollatsek, Bolozky, Well, & Rayner, 1981. [↑](#footnote-ref-25)
26. Rubin & Turano, 1992. [↑](#footnote-ref-26)
27. См. Rayner & Pollatsek, 1989, c. 440–449. [↑](#footnote-ref-27)
28. Мольер, Ж.‑Б. Жорж Данден, или Одураченный муж. // Ж.‑Б. Мольер. Собрание сочинений: в 2 т. – М.: 1957. – Т. 2. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-28)
29. Перцепция – восприятие действительности органами чувств. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-29)
30. Paap, Newsome, & Noel, 1984; Besner, 1989; Mayall, Humphreys, & Olson, 1997; Mayall, Humphreys, Mechelli, Olson, & Price, 2001. [↑](#footnote-ref-30)
31. McConkie & Zola, 1979; Rayner, McConkie, & Zola, 1980. [↑](#footnote-ref-31)
32. Для английского языка автор приводит слова «eight» («восемь») и «sight» («зрение»). *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-32)
33. Для английского языка автор приводит пару слов «departure» («отъезд») и «depart» («уезжать»). *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-33)
34. Для английского языка автор приводит в пример «can» («могу») – «could» («мог») и «aspire» («стремиться») – «aspirin» («аспирин»). *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-34)
35. Для английского языка автор приводит 2 пары слов: «hard» («трудный») – «hardly» («едва ли»), «depart» («уезжать») – «department» («отдел», «департамент»). *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-35)
36. Rastle, Davis, Marslen‑Wilson, & Tyler, 2000; Longtin, Segui, & Hallé, 2003. [↑](#footnote-ref-36)
37. Для английского языка автор приводит в пример разбиение слова «department» («отдел», «департамент») на depart‑ + ment‑. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-37)
38. Очевидно, разложение на морфемы представляет собой систематический процесс. В случае таких слов, как «repair», его результаты могут ввести нас в заблуждение. Тем не менее пока неясно, когда именно это происходит: до или после того, как мы получаем доступ к ментальному лексикону известных слов. Обработка морфем по‑прежнему активно обсуждается как на эмпирическом, так и на теоретическом уровнях. Более подробно об этом см., например, Caramazza, Laudanna, & Romani, 1988; Taft, 1994; Ferrand, 2001, гл. 5. [↑](#footnote-ref-38)
39. Для английского языка автор приводит следующие примеры: «listless» – это не тот, у кого нет списка продуктов, а «apartment» не означает, что два человека скоро будут жить раздельно. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-39)
40. Здесь и далее я буду использовать кавычки для зрительной формы букв и слов, а квадратные скобки – для их произношения. Например, слово «women» произносится как [wimin]. [↑](#footnote-ref-40)
41. Rey, Jacobs, Schmidt‑Weigand, & Ziegler, 1998; Rey, Ziegler, & Jacobs, 2000. [↑](#footnote-ref-41)
42. Для английского языка автор предлагает следующие слова:

    Список 1: HO**RNY RID**ER **GR**AVY FIL**ET**

    Список 2: **VOD**KA ME**TRO** HAN**DY SU**PER. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-42)
43. Prinzmetal, Treiman, & Rho, 1986; также см. Prinzmetal, 1990. [↑](#footnote-ref-43)
44. Августин, Исповедь, кн. 6, гл. 3. Цитаты из Августина и Исидора Севильского также можно найти в книге Альберто Мангуэля «История чтения». [↑](#footnote-ref-44)
45. *Пер.* А. В. Гараджа. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-45)
46. Для английского языка автор предлагает следующие буквенные цепочки: «rabbit», «bountery», «culdolt», «money», «dimon», «karpit», «nee». Первая и четвертая – настоящие слова, вторая и третья, вероятно, сильно искаженные «boundary» и «couldn’t». Остальные – транскрипции слов demon, carpet и knee. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-46)
47. Rubenstein, Lewis, & Rubenstein, 1971; Coltheart et al., 1977; Seidenberg et al., 1996; Ferrand, 2001, гл. 4. [↑](#footnote-ref-47)
48. Для английского языка автор предлагает слово «Kalashnikov». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-48)
49. По Э. Ангел Необъяснимого. // Э. По. Рассказы. – М.: Художественная литература, 1980. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-49)
50. Для английского языка автор предлагает следующий набор слов: «knee», «leg», «table», «head», «plane», «bucket», «hare». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-50)
51. Van Orden, Johnston, & Hale, 1988; Jared & Seidenberg, 1991. [↑](#footnote-ref-51)
52. Букв.: «Она из тех девушек, которые карабкаются по лестнице успеха, скатываясь все ниже и ниже». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-52)
53. Букв.: «Нет полиции лучше, чем Холмс» (по аналогии с поговоркой «There is no place like home» – «Нет места лучше, чем дом»). *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-53)
54. Этот каламбур, а также некоторые другие игры слов заимствованы из Hammond & Hughes, 1978. [↑](#footnote-ref-54)
55. В оригинале шутка звучит так: An admirer says to President Lincoln, «Permit me to introduce my family. My wife, Mrs. Bates. My daughter, Miss Bates. My son, Master Bates». «Oh dear!» replied the president. Фраза «My son, Master Bates» (master – устаревшее обращение к юноше) очень похожа на «my son masturbates». (*Прим. перев*.) [↑](#footnote-ref-55)
56. Perfetti & Bell, 1991; Ferrand & Grainger, 1992, 1993, 1994; Lukatela, Frost, & Turvey, 1998. [↑](#footnote-ref-56)
57. Для английского языка автор приводит такие пары омофонов: «maid» – «made», «raise» – «raze», «board» – «bored», «muscles» – «mussels». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-57)
58. Для английского языка автор предлагает следующую игру слов: «serial killers hate cornfields» и «one‑carat diamonds are an odd shade of orange». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-58)
59. Шекспир, У. Бесплодные усилия любви. // У. Шекспир. Полное собрание сочинений: в 8 т. – М.: Искусство, 1958. – Т. 2. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-59)
60. Coulmas, 1989, с. 251. [↑](#footnote-ref-60)
61. В оригинальном тексте комедии Олоферн жалуется на такие искажения, как: «doubt» – «dout», «debt» – «det», «calf» – «cauf», «half» – «hauf»; «neighbor» – «nebor». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-61)
62. Битва при Гастингсе (14 октября 1066 года) – сражение между англосаксонской и нормандской армиями, которые возглавляли король Гарольд Годвинсон и герцог Вильгельм соответственно. В результате битвы Вильгельм стал новым английским королем. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-62)
63. Влияние артикуляции последующего звука на предшествующий. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-63)
64. Уподобление в потоке речи одного звука другому. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-64)
65. Явление перераспределения сегментов слова по слогам. Например, в слове «нож» [ж] закрывает первый слог, а в слове «ножи» – прикрывает второй слог. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-65)
66. *Англ.* «безумный» и «безумие». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-66)
67. *Англ.* «column» и «columnist» – «колонка» и «колумнист», «autumn» и «autumnal» – «осень» и «осенний», «condemn» и «condemnation» – «осуждать» и «осуждение». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-67)
68. Coulmas, 1989. [↑](#footnote-ref-68)
69. Wydell & Butterworth, 1999. [↑](#footnote-ref-69)
70. Или русские «луг» и «лук». (*Прим. перев*.) [↑](#footnote-ref-70)
71. «I scream» («я кричу») и «ice‑cream» («мороженое») читаются одинаково: [‘aɪs’kri: m]. (*Прим. перев*.) [↑](#footnote-ref-71)
72. Marshall & Newcombe, 1973; Shallice, 1988; McCarthy & Warrington, 1990; Coltheart & Coltheart, 1997. [↑](#footnote-ref-72)
73. Для английского языка автор приводит такие неологизмы и окказионализмы, как «departition» и «calbonter». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-73)
74. Для английского языка автор приводит такие примеры, как «eyes», «door» и «women». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-74)
75. Для английского языка автор предлагает такую пару слов, как «ham» – «meat» («ветчина» – «мясо»). *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-75)
76. Для английского языка автор предлагает неологизм «chicopar». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-76)
77. Enough [ɪnʌf] – «достаточно», «вполне». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-77)
78. Для английского языка автор предлагает в первом случае слово «women», а во втором – слово «too». (*Прим. перев*.) [↑](#footnote-ref-78)
79. Для английского языка автор приводит в пример замену слова «house» словом «home» (*Прим. перев*.) [↑](#footnote-ref-79)
80. Seidenberg & McClelland, 1989. [↑](#footnote-ref-80)
81. Seidenberg & McClelland, 1989; Grainger & Jacobs, 1996; Plaut, McClelland, Seidenberg, & Patterson, 1996; Ans, Carbonnel, & Valdois, 1998; Zorzi, Houghton, & Butterworth, 1998; Coltheart et al., 2001; Harm & Seidenberg, 2004. Последняя из этих эксплицитных моделей, CDP+ (Perry, Ziegler, & Zorzi, 2007), обеспечивает интересный синтез более ранних теоретических предположений. [↑](#footnote-ref-81)
82. Бейсик‑инглиш (*англ.* «Basic English» – «базовый английский») – искусственный язык на основе английского языка, созданный в 1925 году британским лингвистом Чарлзом Огденом. Основное отличие от английского языка – сокращенный словарь. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-82)
83. Selfridge, 1959. [↑](#footnote-ref-83)
84. Dennett, 1978. [↑](#footnote-ref-84)
85. Искаженное «астролябия». (*Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-85)
86. McClelland & Rumelhart, 1981; Rumelhart & McClelland, 1982. [↑](#footnote-ref-86)
87. Weekes, 1997; Lavidor & Ellis, 2002. Это справедливо только в том случае, если слова достаточно знакомы, расположены горизонтально и появляются в середине центральной ямки или чуть правее от нее (Lavidor, Babkoff, & Faust, 2001; Lavidor & Ellis, 2002; Ellis, Young, & Anderson, 1988; Ellis, 2004). [↑](#footnote-ref-87)
88. Для английского языка автор предлагает предложение *«Honey bees savour sweet nectar»*. (*Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-88)
89. В английском примере в словах «bees» и «nectar» одинаково написаны буквы «e» и «с», а в слове «savour» – «a» и «о», «v» и «u». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-89)
90. Reicher, 1969; Ferrand, 2001, с. 58–63. [↑](#footnote-ref-90)
91. «Head» (*англ.*) – «голова»; «heat» (*англ.*) – «жар», «тепло». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-91)
92. «GERD» (*англ.*; «*gastroesophageal reflux disease»*) – «гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь»; «GERT» (*англ.*; «*graphical evaluation and review technique»*) – «метод графической оценки и анализа». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-92)
93. «SPRD» (*англ.*; «spread») – «распространение»; «SPRT» (*англ.*; «sport») – «спорт». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-93)
94. Spoehr & Smith, 1975; Rumelhart & McClelland, 1982. [↑](#footnote-ref-94)
95. Как мы увидим в главе 3, последние данные позволяют уточнить это определение лексических соседей. Если слова кодируются с помощью пар букв или биграмм, о чем свидетельствуют несколько исследований (Grainger & van Heuven, 2003; Grainger & Whitney, 2004; Dehaene, Cohen, Sigman, & Vinckier, 2005), в качестве меры орфографического сходства, вероятно, следует принять количество общих биграмм. См. Granier, Farioli, Van Assche, & van Heuven, 2006. [↑](#footnote-ref-95)
96. Для английского языка автор приводит «соседей» слова «hare» («заяц»): «bare», «care», «dare», «fare», «mare», «pare», «rare», «here», «hire», «hale», «hate», «have», «hard», «harm», «hart». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-96)
97. Научные статьи по эффектам соседства многочисленны и иногда противоречивы. Вероятно, причина этого в том, что наличие большого количества соседей может приводить к противоположным результатам. Новейший обзор см. Ferrand, 2001, с. 96–115. [↑](#footnote-ref-97)
98. Для английского языка автор указывает на конкуренцию слова «hare» с такими часто встречающимися словами, как «have» и «hard». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-98)
99. Segui & Grainger, 1990. [↑](#footnote-ref-99)
100. Rey et al., 1998; Rey, Ziegler, & Jacobs, 2000. Недавний обзор эффектов конкуренции на нескольких уровнях системы чтения см. Grainger & Ziegler, 2007. [↑](#footnote-ref-100)
101. Для английского языка автор приводит предложение «The road winds through a valley battered by fierce winds». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-101)
102. Swinney et al., 1979; Seidenberg et al., 1982. [↑](#footnote-ref-102)
103. В оригинале цитата звучит так: «Tell the editor I’ve been too fucking busy – or vice versa». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-103)
104. Набоков В. Бледный огонь. – М.: Азбука, 2020. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-104)
105. Déjerine, 1892. Все последующие цитаты приведены из этого же фундаментального труда по нейропсихологии чтения. [↑](#footnote-ref-105)
106. Warrington & Shallice, 1980; Patterson & Kay, 1982; Montant & Behrmann, 2000. [↑](#footnote-ref-106)
107. Cohen & Dehaene, 1995, 2000; Gaillard, Naccache et al., 2006. [↑](#footnote-ref-107)
108. Patterson & Kay, 1982; Hanley & Kay, 1996. [↑](#footnote-ref-108)
109. Miozzo & Caramazza, 1998. [↑](#footnote-ref-109)
110. Исследование, проведенное Фисе и другими учеными (2005), позволяет уточнить это утверждение. Вероятно, определенный вклад в эффект длины слова вносит сходство каждой буквы с остальными буквами алфавита. При адекватном контроле внешней схожести букв больные не всегда тратят больше времени на чтение длинных слов. Таким образом, истинная природа дефицита может заключаться в утрате приобретенного нейронного кода, усиливающего крошечные различия между буквами. В результате сходство между буквами увеличивается (китайские иероглифы, например, кажутся похожими всем, кто никогда не изучал их). Выше определенного порога это преувеличенное сходство может вынуждать больного тщательно разглядывать каждую букву. Другими словами, не исключено, что при чистой алексии способность к параллельному распознаванию слов не утрачена полностью, а просто снижена (Arguin, Fiset, & Bub, 2002). Гипотеза остаточной способности к параллельному чтению может объяснить и феномен «имплицитного чтения» – некоторые пациенты теряют навык чтения слов вслух, но не умение классифицировать их по значению (Coslett & Saffran, 1989; Coslett, Saffran, Greenbaum & Schwartz, 1993). С другой стороны, эта компетенция вполне может отражать частичное восстановление способности к чтению за счет неповрежденного правого полушария (Coslett & Monsul, 1994; Cohen et al., 2003). [↑](#footnote-ref-110)
111. Cohen et al., 2003. Книга Лорана Коэна «L’homme thermomètre» – превосходное введение в науку о зрительных нарушениях. [↑](#footnote-ref-111)
112. Damasio & Damasio, 1983; Binder & Mohr, 1992; Leff et al., 2001. [↑](#footnote-ref-112)
113. Leff et al., 2001. [↑](#footnote-ref-113)
114. Cohen et al., 2000; Cohen et al., 2002; Dehaene et al., 2002; Gaillard, Naccache et al., 2006. Необходимо отметить, что термин «область зрительной формы слова» и его значения по‑прежнему остаются предметом активных дискуссий (см. Price & Devlin, 2003; Cohen & Dehaene, 2004). [↑](#footnote-ref-114)
115. Например, см. статью Cohen et al., 2003 (включая приведенный в ней список литературы). [↑](#footnote-ref-115)
116. Geschwind, 1965. [↑](#footnote-ref-116)
117. Исследования А. Л. Лавуазье и французского химика А. Сегена, показавшие, что дыхание животных представляет собой медленное горение, благодаря которому в организме поддерживается постоянный запас тепла. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-117)
118. Дорфман Я. Г. Лавуазье. – М.: Издательство Академии наук СССР, 1948. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-118)
119. Petersen et al., 1988; также см. Posner et al., 1988; Petersen et al., 1989; Petersen et al., 1990. [↑](#footnote-ref-119)
120. Насыщенность кислородом. *(Прим. науч. ред.)* [↑](#footnote-ref-120)
121. Dehaene et al., 2002. [↑](#footnote-ref-121)
122. Cohen et al., 2000. В системе координат Монреальского неврологического института вариации составляют –42 мм по поперечной оси, –57 мм по продольной оси и –12 мм по вертикальной оси. [↑](#footnote-ref-122)
123. На рисунке 2.4 виден источник вариабельности: хотя левая затылочно‑височная область активировалась у всех обследованных нами субъектов, активация в симметричной ей области правого полушария наблюдалась лишь у некоторых из них. Хотя причины этого пока неизвестны, такая особенность может служить фактором потенциального восстановления некоторой способности к чтению после инфаркта левого полушария (Cohen, Henry et al., 2004). [↑](#footnote-ref-123)
124. Hasson et al., 2002. [↑](#footnote-ref-124)
125. Booth et al., 2002; Cohen, Jobert et al., 2004. [↑](#footnote-ref-125)
126. Tokunaga et al., 1999; Nakamura et al., 2000. [↑](#footnote-ref-126)
127. Burton, Small, & Blumstein, 2000. [↑](#footnote-ref-127)
128. Ishai et al., 1999; Haxby et al., 2000; Ishai et al., 2000; Haxby et al., 2001; Levy et al., 2001; Hasson et al., 2002; Malach, Levy, & Hasson, 2002; Hasson et al., 2003. [↑](#footnote-ref-128)
129. Puce et al., 1996. [↑](#footnote-ref-129)
130. Haxby et al., 2001; Grill‑Spector, Sayres, & Ress, 2006. [↑](#footnote-ref-130)
131. Grill‑Spector, Sayres, & Ress, 2006. [↑](#footnote-ref-131)
132. Tsao et al., 2006. [↑](#footnote-ref-132)
133. Tarkiainen et al., 1999; Tarkiainen, Cornelissen, & Salmelin, 2002. [↑](#footnote-ref-133)
134. Allison et al., 1994; Nobre, Allison, & McCarthy, 1994; Allison et al., 1999. Также см. Gaillard, Naccache et al., 2006. [↑](#footnote-ref-134)
135. Kanwisher, McDermott, & Chun 1997. [↑](#footnote-ref-135)
136. Cohen et al., 2000. [↑](#footnote-ref-136)
137. McCandliss, Curran, & Posner, 1993. [↑](#footnote-ref-137)
138. Cohen et al., 2000; Molko et al., 2002. [↑](#footnote-ref-138)
139. Ellis, Young, & Anderson, 1988; Cohen et al., 2000; Ellis, 2004. Передача информации между полушариями – лишь один из факторов, обусловливающих предпочтение правой половины зрительного поля (см. Brysbaert, 1994). Не менее важную роль играет и направление чтения. При чтении слева направо (как в английском языке) правая половина зрительного поля получает больше возможностей для тренировки распознавания букв (Nazir et al., 2004). [↑](#footnote-ref-139)
140. Molko et al., 2002. [↑](#footnote-ref-140)
141. Рассеивание. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-141)
142. Едва ли проводящий путь такого размера несет информацию только об идентичности букв и слов. Скорее всего, он передает и дополнительные сведения – например, о цвете, форме и идентичности объектов. Дальнейшие исследования показали, что А. К. действительно не способен передавать такую информацию между полушариями. (Intriligator, Hénaff, & Michel, 2000). [↑](#footnote-ref-142)
143. Le Bihan et al., 2006. [↑](#footnote-ref-143)
144. Polk & Farah, 2002. [↑](#footnote-ref-144)
145. Grill‑Spector & Malach, 2001; Naccache & Dehaene, 2001. [↑](#footnote-ref-145)
146. Для английского языка автор приводит слово «ElEpHaNt». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-146)
147. Dehaene et al., 2001. [↑](#footnote-ref-147)
148. Dehaene et al., 2004. [↑](#footnote-ref-148)
149. Для английского языка автор предлагает такую пару слов, как «anger» и «range». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-149)
150. Devlin et al., 2004. [↑](#footnote-ref-150)
151. Другие доказательства подпороговой обработки слов см., например, Naccache et al., 2005; Gaillard, Del Cul et al., 2006; Del Cul, Baillet, & Dehaene, 2007. [↑](#footnote-ref-151)
152. Для английского языка автор предлагает такую пару слов, как «depart» и «departure». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-152)
153. Для английского языка автор предлагает такую пару слов, как «depart» и «department». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-153)
154. Для английского языка автор предлагает такие анаграммы, как «recent» и «center». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-154)
155. Dehaene et al., 2004. [↑](#footnote-ref-155)
156. См., например, Price, Wise, & Frackowiak, 1996; Büchel, Price, & Friston, 1998; Cohen et al., 2002; Dehaene et al., 2002; Polk & Farah, 2002. Как показывают все эти исследования, вентральная зрительная область меньше реагирует на цепочки согласных, чем на слова или псевдослова. Однако это верно только для простых и нейтральных задач, таких как определение наличия нисходящей буквы (скажем, «у» или «p»). По этой причине следует избегать сложных задач, предполагающих запоминание стимулов или обнаружение повторов. Они выполняются медленнее, вызывают больше сложностей при предъявлении цепочек согласных, нежели при предъявлении слов, а также могут привести к обратным результатам (см., например, Tagamets et al., 2000). [↑](#footnote-ref-156)
157. Binder et al., 2006; Vinckier et al., 2007. [↑](#footnote-ref-157)
158. Baker et al., 2007. [↑](#footnote-ref-158)
159. Polk et al., 2002. [↑](#footnote-ref-159)
160. Dehaene, 1995; Bentin et al., 1999; Tarkiainen et al., 1999; Pinel et al., 2001. [↑](#footnote-ref-160)
161. See Tan et al., 2000; Kuo et al., 2001; Kuo et al., 2003; Lee et al., 2004. Некоторые области, однако, более активны при чтении китайских иероглифов, чем английских слов, включая правую теменную и среднюю лобную области (Tan et al., 2001; Siok et al., 2004). Они могут играть определенную роль в зрительно‑пространственном внимании и моторном кодировании, тем самым помогая китайцам запомнить несколько тысяч символов их родного языка. На самом деле многие китайские читатели прибегают к любопытному мнемоническому приему: они мысленно воспроизводят пространственную последовательность штрихов, из которых состоит знак. [↑](#footnote-ref-161)
162. Chen et al., 2002; Fu et al., 2002. Как показывают некоторые исследования, иероглифы вызывают несколько большую активность, чем знаки пиньинь. Очевидно, это объясняется тем, что первые выучиваются до автоматизма и являются более знакомыми, чем вторые. [↑](#footnote-ref-162)
163. Kuo et al., 2001. [↑](#footnote-ref-163)
164. Ding, Pen, & Taft, 2004. [↑](#footnote-ref-164)
165. Nakamura et al., 2005. Также см. Ha Duy Thuy et al., 2004; данные магнитоэнцефалографии см. Koyama et al., 1998. Исследование чтения у корейцев дало аналогичные результаты (Lee, 2004). [↑](#footnote-ref-165)
166. Sakurai, Takeuchi et al., 2000. [↑](#footnote-ref-166)
167. Латерализация – процесс, который обуславливает связь психических функций человека с правым или левым полушарием мозга. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-167)
168. Sasanuma, 1975; Sakurai, Momose et al., 2000; Sakurai, Takeuchi et al., 2000; Sakurai, Ichikawa, & Mannen, 2001. [↑](#footnote-ref-168)
169. Catani et al., 2003. [↑](#footnote-ref-169)
170. Di Virgilio & Clarke, 1997. [↑](#footnote-ref-170)
171. Dehaene et al., 2002; Cohen, Jobert et al., 2004. [↑](#footnote-ref-171)
172. Прибор, объединяющий несколько компьютеров или других устройств в локальную сеть для передачи данных. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-172)
173. Marinkovic et al., 2003. Похожие изображения, но со свидетельствами удивительно ранней активации левой нижней лобной области см. Pammer et al., 2004. [↑](#footnote-ref-173)
174. Fiez et al., 1999; Hagoort et al., 1999; Tagamets et al., 2000; Bokde et al., 2001; Xu et al., 2001; Cohen et al., 2002; Fiebach et al., 2002; Simos, Breier et al., 2002; Binder et al., 2003. [↑](#footnote-ref-174)
175. «Bloom» («цветение») читается [blu: m], «blood» («кровь») читается [blʌd]. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-175)
176. Pugh et al., 1996; Price et al., 1997; Friederici, Opitz, & von Cramon, 2000; Booth et al., 2002; Cohen, Jobert et al., 2004. [↑](#footnote-ref-176)
177. Современные обзоры исследований в этой области см. Fiez & Petersen, 1998; Price, 1998; Jobard, Crivello, & Tzourio‑Mazoyer, 2003; Mechelli, Gorno‑Tempini, & Price, 2003; Price et al., 2003. [↑](#footnote-ref-177)
178. van Atteveldt, Formisano, Goebel, & Blomert, 2004. [↑](#footnote-ref-178)
179. Raij, Uutela, & Hari, 2000. [↑](#footnote-ref-179)
180. Dehaene‑Lambertz & Dehaene, 1994; Dehaene‑Lambertz & Baillet, 1998; Dehaene‑Lambertz, Dehaene, & Hertz‑Pannier, 2002. [↑](#footnote-ref-180)
181. Dehaene‑Lambertz, 1997; Naatanen et al., 1997; Cheour et al., 1998; Jacquemot et al., 2003. [↑](#footnote-ref-181)
182. Simon et al., 2002. [↑](#footnote-ref-182)
183. Paulesu, Frith, & Frackowiak, 1993. [↑](#footnote-ref-183)
184. Binder et al., 1999, 2000; Kotz et al., 2002. [↑](#footnote-ref-184)
185. Vandenberghe et al., 1996. [↑](#footnote-ref-185)
186. Binder et al., 1999; Cohen et al., 2003. [↑](#footnote-ref-186)
187. Devlin et al., 2004. [↑](#footnote-ref-187)
188. «Hunt» (*англ.*) – «охота», «hunter» (*англ.*) – «охотник». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-188)
189. «Horn» – «рог», «horny» – «мозолистый». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-189)
190. Nakamura et al., 2005. [↑](#footnote-ref-190)
191. Rissman, Eliassen, & Blumstein, 2003. [↑](#footnote-ref-191)
192. Mazoyer et al., 1993; Price et al., 1997; Vandenberghe, Nobre, & Price, 2002. [↑](#footnote-ref-192)
193. Thompson‑Schill, D’Esposito, & Kan, 1999; Rodd, Davis, & Johnsrude, 2005. [↑](#footnote-ref-193)
194. Английское слово «shell» может иметь следующие значения: «ракушка», «скорлупа» и «снаряд»; слово «tank» – «бак» и «танк». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-194)
195. Http://monster‑island.org/tinashumor/. [↑](#footnote-ref-195)
196. Damasio, 1989b, 1989a. [↑](#footnote-ref-196)
197. Warrington & Shallice, 1984; Caramazza & Hillis, 1991; Caramazza, 1996, 1998; Shelton, Fouch, & Caramazza, 1998. [↑](#footnote-ref-197)
198. Damasio et al., 1996; Grabowski, Damasio, & Damasio, 1998. [↑](#footnote-ref-198)
199. Martin et al., 1996; Chao, Haxby, & Martin, 1999; Beauchamp et al., 2004. [↑](#footnote-ref-199)
200. Pulvermuller, 2005. [↑](#footnote-ref-200)
201. Для английского языка автор предлагает такую пару, как «cheese» – «croil». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-201)
202. Dehaene, 1995. [↑](#footnote-ref-202)
203. «Hed» = head (голова); «wimen» = women (женщины). *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-203)
204. «Have» – иметь, обладать; «eye» – глаз. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-204)
205. Wydell & Butterworth, 1999. [↑](#footnote-ref-205)
206. Chen et al., 2002; Fu et al., 2002. [↑](#footnote-ref-206)
207. Paulesu et al., 2000. [↑](#footnote-ref-207)
208. Утконос. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-208)
209. Дарвин Ч. Р. Происхождение человека и половой отбор: в 2 т. – М.: Терра, 2009. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-209)
210. Дарвин Ч. Р. О выражении эмоций у человека и животных. – СПб: Питер, 2001. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-210)
211. Klüver & Bucy, 1937. [↑](#footnote-ref-211)
212. Mishkin & Pribram, 1954. [↑](#footnote-ref-212)
213. Lissauer, 1890; Goodale & Milner, 1992. [↑](#footnote-ref-213)
214. Нижняя височная зона; включает в себя большую часть вентральной височной коры. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-214)
215. Акустико‑гностический сенсорный центр речи. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-215)
216. Humphrey & Weiskrantz, 1969; Weiskrantz & Saunders, 1984. [↑](#footnote-ref-216)
217. Desimone & Gross, 1979; Schwartz, Desimone, Albright, & Gross, 1983; Perrett, Mistlin, & Chitty, 1989; Tanaka, 1996; Tamura & Tanaka, 2001; Tanaka, 2003. [↑](#footnote-ref-217)
218. Sary, Vogels, & Orban, 1993; Ito et al., 1995. [↑](#footnote-ref-218)
219. Vogels & Biederman, 2002. [↑](#footnote-ref-219)
220. Tanaka, 2003. [↑](#footnote-ref-220)
221. Logothetis, Pauls, & Poggio, 1995; Booth & Rolls, 1998. [↑](#footnote-ref-221)
222. Quiroga et al., 2005. [↑](#footnote-ref-222)
223. Rolls, 2000. [↑](#footnote-ref-223)
224. Процесс перераспределения генетической информации через разрыв или соединение разных хромосом. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-224)
225. Grill‑Spector et al., 1998; Lerner et al., 2001; Vuilleumier et al., 2002. [↑](#footnote-ref-225)
226. Thorpe, Fize, & Marlot, 1996. [↑](#footnote-ref-226)
227. Riesenhuber & Poggio, 1999; VanRullen & Thorpe, 2002. [↑](#footnote-ref-227)
228. Tanaka, 2003. [↑](#footnote-ref-228)
229. Tsunoda et al., 2001. [↑](#footnote-ref-229)
230. Ito & Komatsu, 2004. [↑](#footnote-ref-230)
231. Brincat & Connor, 2004. [↑](#footnote-ref-231)
232. Biederman, 1987. [↑](#footnote-ref-232)
233. Соприкосновении или частичном перекрытии. *(Прим. науч. ред.)* [↑](#footnote-ref-233)
234. Там же. [↑](#footnote-ref-234)
235. Biederman & Bar, 1999. [↑](#footnote-ref-235)
236. Vogels et al., 2001. [↑](#footnote-ref-236)
237. Miyashita, 1988; Logothetis, Pauls, & Poggio, 1995. [↑](#footnote-ref-237)
238. Baker, Behrmann, & Olson, 2002. [↑](#footnote-ref-238)
239. Gould & Marler, 1987. [↑](#footnote-ref-239)
240. Miyashita, 1988; Sakai & Miyashita, 1991. [↑](#footnote-ref-240)
241. Шекспир, У. Много шума из ничего. // У. Шекспир. Полное собрание сочинений: в 8 т. – М.: Искусство, 1959. – Т. 4. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-241)
242. Gould & Vrba, 1982. [↑](#footnote-ref-242)
243. Jacob, 1977. [↑](#footnote-ref-243)
244. Dehaene, 2005; Dehaene & Cohen, 2007. [↑](#footnote-ref-244)
245. Dawkins, 1989. (Русс. пер. См. Докинз, Р. Эгоистичный ген.) [↑](#footnote-ref-245)
246. Blackmore, 1999. [↑](#footnote-ref-246)
247. Теория, согласно которой движущей силой эволюции является внутреннее стремление организмов к совершенствованию. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-247)
248. Sperber, 1996; Sperber & Hirschfeld, 2004. [↑](#footnote-ref-248)
249. Частичное или полное лишение одного (нескольких) органов чувств внешнего воздействия и стимулов. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-249)
250. Dehaene et al., 2005. Эта модель детекторов локальных комбинаций расширяет модель, предложенную Мозером (Mozer, 1987). [↑](#footnote-ref-250)
251. Sigman & Gilbert, 2000; Sigman et al., 2005. [↑](#footnote-ref-251)
252. Зона мозга, близкая к области V4, особенно в левом полушарии, интенсивнее реагирует на цепочки букв, чем на шахматки, лица или дома, когда слова представлены в правой половине зрительного поля. См. Cohen et al., 2000, 2002; Hasson et al., 2002; а также рис. 3.10. [↑](#footnote-ref-252)
253. And (*англ.*) – союз «и»; DNA – ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота). *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-253)
254. Whitney, 2001; Grainger & Whitney, 2004; Schoonbaert & Grainger, 2004. [↑](#footnote-ref-254)
255. Humphreys, Evett, & Quinlan, 1990; Peressotti & Grainger, 1999. [↑](#footnote-ref-255)
256. Perea & Lupker, 2003; Schoonbaert & Grainger, 2004; Grainger et al., 2006. [↑](#footnote-ref-256)
257. McClelland & Rumelhart, 1981; Grainger & Jacobs, 1996; Ans, Carbonnel, & Valdois, 1998; Zorzi, Houghton, & Butterworth, 1998; Harm & Seidenberg, 1999; Coltheart et al., 2001; Perry, Ziegler, & Zorzi, 2007. [↑](#footnote-ref-257)
258. Подробное обсуждение механизмов четния солв, бкувы в коротых пеперунаты, см. веб‑сайт кембриджского психолога Мэтта Дэвиса: http://www.mrc‑cbu.cam. ac.uk/~mattd/Cmabrigde/. [↑](#footnote-ref-258)
259. Vinckier et al., 2006. [↑](#footnote-ref-259)
260. Rastle et al., 2000; Longtin, Segui, & Hallé, 2003. [↑](#footnote-ref-260)
261. Состоящий из отдельных точек. *(Прим. науч. ред.)* [↑](#footnote-ref-261)
262. Reicher, 1969; Spoehr & Smith, 1975; Rumelhart & McClelland, 1982. [↑](#footnote-ref-262)
263. Binder et al., 2006. [↑](#footnote-ref-263)
264. Cohen et al., 2002. [↑](#footnote-ref-264)
265. Bouma, 1973; Lavidor, Babkoff, & Faust, 2001; Nazir et al., 2004; Vinckier et al., 2006. [↑](#footnote-ref-265)
266. Dehaene et al., 2004; Vinckier et al., 2007. [↑](#footnote-ref-266)
267. Allison et al., 1994, 1999; Haxby et al., 2001; Grill‑Spector, Sayres, & Ress, 2006. [↑](#footnote-ref-267)
268. McCrory et al., 2005. [↑](#footnote-ref-268)
269. Ding, Peng, & Taft, 2004. [↑](#footnote-ref-269)
270. Ziegler & Goswami, 2005. [↑](#footnote-ref-270)
271. Paulesu et al., 2000. [↑](#footnote-ref-271)
272. Ha Duy Thuy et al., 2004; Nakamura et al., 2005. [↑](#footnote-ref-272)
273. Quartz & Sejnowski, 1997. [↑](#footnote-ref-273)
274. Levy et al., 2001; Hasson et al., 2002; Malach, Levy, & Hasson, 2002. [↑](#footnote-ref-274)
275. Turing, 1952. [↑](#footnote-ref-275)
276. Grill‑Spector et al., 1998; Lerner et al., 2001. [↑](#footnote-ref-276)
277. Dehaene et al., 2004. [↑](#footnote-ref-277)
278. См., например, Kitterle & Selig, 1991; Robertson & Lamb, 1991. [↑](#footnote-ref-278)
279. Cohen, Lehéricy et al., 2004. [↑](#footnote-ref-279)
280. Turkeltaub et al., 2004. [↑](#footnote-ref-280)
281. Cohen et al., 2003. [↑](#footnote-ref-281)
282. Платон. Федр. – М: Прогресс, 1989. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-282)
283. Киплинг Р. Сказки слово в слово. – М.: Октопус, 2013. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-283)
284. Levi‑Strauss, 1958; Sperber, 1974; Chomsky, 1988; Brown, 1991. [↑](#footnote-ref-284)
285. Changizi & Shimojo, 2005. [↑](#footnote-ref-285)
286. Changizi, Zhang, Ye, & Shimojo, 2006. [↑](#footnote-ref-286)
287. Нет никаких сомнений в том, что сильное избирательное давление на эволюцию письма оказали и моторные ограничения. Однако некоторые данные указывают на то, что закономерности, обнаруженные Марком Чангизи, более тесно связаны с легкостью чтения, чем письма (Changizi & Shimojo, 2005; Changizi et al., 2006). В частности, те же самые принципы обнаруживаются в компьютерных шрифтах и логотипах крупных компаний – то есть в двух категориях символов, не имеющих отношения к письму, – но отсутствуют в формах рукописных знаков, кривые которых подчиняются качественно иной статистике. [↑](#footnote-ref-287)
288. Нейроны сетчатки глаза. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-288)
289. Leroi‑Gourhan, 1983; Calvet, 1998. [↑](#footnote-ref-289)
290. Leroi‑Gourhan, 1993, с. 190–191, 202. [↑](#footnote-ref-290)
291. Schmandt‑Besserat, 1996. [↑](#footnote-ref-291)
292. Недавно проведенное нейровизуализационное исследование показало, что вид тел и их строения активирует специфическую область затылочной коры (Downing et al., 2001). [↑](#footnote-ref-292)
293. Плотин. Эннеады. – Киев: УЦИММ‑ПРЕСС, 1995–1996. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-293)
294. DeFrancis, 1989. [↑](#footnote-ref-294)
295. Coulmas, 1989, с. 78. [↑](#footnote-ref-295)
296. «One» – «один», «won» – «победил». Оба слова читаются как [wʌn]. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-296)
297. Gauthier, Curran, Curby, & Collins, 2003; Rossion, Kung, & Tarr, 2004. [↑](#footnote-ref-297)
298. Zali & Berthier, 1997, с. 38. [↑](#footnote-ref-298)
299. Способы и приемы, облегчающие запоминание информации при помощи ассоциаций. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-299)
300. Аналогичный феномен имел место и в Корее, когда король Седжон выразил свое недовольство китайскими иероглифами, которые он считал непригодными для корейского языка. «Поскольку наш язык отличается от китайского, – заявил он, – мой бедный народ не может выражать свои мысли с помощью китайских символов. Из жалости к нему я создаю 28 букв, которые все могут выучить без труда и использовать в повседневной жизни». Так в 1446 году появился корейский алфавит хангыль. Сегодня, почти 600 лет спустя, употребляются 24 символа из первоначальных 28. Рациональное сочетание фонетического, алфавитного и силлабического принципов делает хангыль одной из самых элегантных систем письма на земле (Coulmas, 1989, с. 118–122). [↑](#footnote-ref-300)
301. Набоков В. Бледный огонь. – М.: Азбука, 2020. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-301)
302. Coulmas, 1989, с. 146. [↑](#footnote-ref-302)
303. Чудесные обзоры развития навыка чтения в его связи с педагогикой см. Rayner & Pollatsek, 1989; Ehri, Nunes, Stahl, & Willows, 2001; Rayner et al., 2001. [↑](#footnote-ref-303)
304. Eimas et al., 1971; Werker & Tees, 1984; Kuhl, 2004. [↑](#footnote-ref-304)
305. Mehler et al., 1988. [↑](#footnote-ref-305)
306. Dehaene‑Lambertz & Dehaene, 1994; Cheour et al., 1998; Dehaene‑Lambertz, Dehaene, & Hertz‑Pannier, 2002; Pena et al., 2003. [↑](#footnote-ref-306)
307. Kuhl, 2004. [↑](#footnote-ref-307)
308. Saffran, Aslin, & Newport, 1996; Marcus et al., 1999; Altmann, 2002; Marcus & Berent, 2003. [↑](#footnote-ref-308)
309. Chomsky, 1980. [↑](#footnote-ref-309)
310. Kellman & Spelke, 1983; недавний обзор см. Wang & Baillargeon, 2008. [↑](#footnote-ref-310)
311. Bhatt et al., 2006. [↑](#footnote-ref-311)
312. Kraebel, West, & Gerhardstein, 2007. [↑](#footnote-ref-312)
313. Shuwairi, Albert, & Johnson, 2007. [↑](#footnote-ref-313)
314. Smith, 2003; Son, Smith, & Goldstone, 2008. [↑](#footnote-ref-314)
315. Pascalis & de Schonen, 1994; Tzourio‑Mazoyer et al., 2002; de Haan, Johnson, & Halit, 2003. [↑](#footnote-ref-315)
316. Pascalis, de Haan, & Nelson, 2002; Pascalis et al., 2005. [↑](#footnote-ref-316)
317. Robinson & Pascalis, 2004. [↑](#footnote-ref-317)
318. Gathers et al., 2004. [↑](#footnote-ref-318)
319. Шекспир, У. Бесплодные усилия любви. // У. Шекспир. Полное собрание сочинений: в 8 т. – М.: Искусство, 1958. – Т. 2. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-319)
320. Southgate et al., 2008. [↑](#footnote-ref-320)
321. Frith, 1985. [↑](#footnote-ref-321)
322. Seidenberg & McClelland, 1989; Hutzler et al., 2004. [↑](#footnote-ref-322)
323. Как показывают исследования (Goswami, 1986), некоторые пятилетние дети самопроизвольно обнаруживают аналогии во внутренней структуре слов. Например, прочитав слово «beak», они могут использовать эту компетенцию для чтения других слов, таких как «bean» или «peak». Однако эффективность этого метода по‑прежнему обсуждается (Nation, Allen, & Hulme, 2001). По всей вероятности, только специальное обучение графемно‑фонемным соответствиям позволяет детям по‑настоящему овладеть алфавитной системой письма. [↑](#footnote-ref-323)
324. В оригинале эти спунеризмы звучат так: *You have hissed all my mystery lectures* («Вы прошипели все мои таинственные лекции») вместо *You have missed all my history lectures* («Вы пропустили все мои лекции по истории») и *You have tasted a whole worm* («Вы попробовали целого червяка») вместо *You’ve wasted a whole term* («Вы потратили даром целый семестр»). *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-324)
325. Оговорка или умышленная игра слов, при которой в нескольких связанных словах происходит перестановка частей слова, слогов, букв или звуков. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-325)
326. В оригинале: *Our Lord is a shoving leopard* («Господь наш – толкающийся леопард») вместо *Our Lord is a loving shepherd* («Господь наш – любящий пастырь»). *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-326)
327. Morais et al., 1979; Morais et al., 1986. [↑](#footnote-ref-327)
328. Mann, 1986; Read et al., 1986; Cheung & Chen, 2004. [↑](#footnote-ref-328)
329. Rayner & Pollatsek, 1989; Rayner et al., 2001. [↑](#footnote-ref-329)
330. Castles & Coltheart, 2004. [↑](#footnote-ref-330)
331. Ehri & Wilce, 1980. [↑](#footnote-ref-331)
332. Stuart, 1990. [↑](#footnote-ref-332)
333. Или, наоборот, напишет «kee», услышав слово «key». Формирование орфографических навыков обычно идет параллельно развитию навыков чтения, хотя для некоторых языков, особенно французского, характерно больше иррегулярностей на письме (преобразование речи в буквы), чем при чтении (преобразование букв в речь). См. Pacton et al., 2 01; Martinet, Valdois, & Fayol, 2004. [↑](#footnote-ref-333)
334. Для английского языка автор приводит слово «vain» («тщеславие») и его соседей «rain» («дождь») и «pain» («боль»). *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-334)
335. Sprenger‑Charolles & Siegel, 1997; Sprenger‑Charolles, Siegel & Bonnet, 1998. [↑](#footnote-ref-335)
336. Aghababian & Nazir, 2000; Zoccolotti et al., 2005. [↑](#footnote-ref-336)
337. См., например, www.mrisafety.com. [↑](#footnote-ref-337)
338. Gaillard et al., 2003. [↑](#footnote-ref-338)
339. Shaywitz et al., 2002. [↑](#footnote-ref-339)
340. Прунинг (от *англ.* «обрезка») – процесс сокращения числа синапсов и/или нейронов для снижения шума и увеличения эффективности работы нейронной сети в целом. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-340)
341. Turkeltaub et al., 2003. [↑](#footnote-ref-341)
342. Orton, 1925, с. 608. [↑](#footnote-ref-342)
343. Simos et al., 2001; U. Maurer et al., 2005. [↑](#footnote-ref-343)
344. U. Maurer et al., 2006. [↑](#footnote-ref-344)
345. Parviainen et al., 2006. [↑](#footnote-ref-345)
346. Для английского языка автор приводит такие примеры, как «moulton» и «fost». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-346)
347. Posner & McCandliss, 1999; McCandliss, Cohen, & Dehaene, 2003. [↑](#footnote-ref-347)
348. Turkeltaub et al., 2003. [↑](#footnote-ref-348)
349. Castro‑Caldas et al. 1998. [↑](#footnote-ref-349)
350. Castro‑Caldas et al., 1999; также см. Petersson et al., 2007. [↑](#footnote-ref-350)
351. В ориг. цит. по: http://oll.libertyfund.org/. Перевод на русский язык см. https://nsu.ru/classics/bibliotheca/plato01/fedr.htm. [↑](#footnote-ref-351)
352. Nieder, Diester, & Tudusciuc, 2006. [↑](#footnote-ref-352)
353. Kolinsky et al., 1987; Kolinsky, Morais, & Verhaeghe, 1994. [↑](#footnote-ref-353)
354. Gauthier et al., 1999; Gauthier et al., 2000; Wong et al., 2005. [↑](#footnote-ref-354)
355. Майкл Тарр и Изабель Готье (Michael Tarr & Isabel Gauthier, 2000) даже предложили заменить термин «веретенообразная область лица» – традиционное название зоны, реагирующей на лица, которое подчеркивает ее локализацию в веретенообразной извилине затылочно‑височной коры, – на «гибкую веретенообразную область». [↑](#footnote-ref-355)
356. Перевод Н. Гумилев. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-356)
357. Современные обзоры см. Habib, 2000; Ramus, 2004; Fisher & Francks, 2006. [↑](#footnote-ref-357)
358. Marks, 1978; Cytowic, 1998; Ramachandran & Hubbard, 2001b. [↑](#footnote-ref-358)
359. Dehaene, 1997. [↑](#footnote-ref-359)
360. Ramachandran & Hubbard, 2001a; Hubbard et al., 2005. [↑](#footnote-ref-360)
361. Dehaene, 1997, гл. 3. [↑](#footnote-ref-361)
362. Hubbard et al., 2005; также см. Sperling et al., 2006. [↑](#footnote-ref-362)
363. Ramachandran & Hubbard, 2001b. [↑](#footnote-ref-363)
364. Mondloch & Maurer, 2004; Maurer, Pathman & Mondloch, 2006. [↑](#footnote-ref-364)
365. National Institute of Child Health and Human Development, 2000; Rayner et al., 2001. [↑](#footnote-ref-365)
366. National Institute of Child Health and Human Development, 2000; Ehri, Nunes, Stahl et al., 2001; Ehri, Nunes, Willows et al., 2001. [↑](#footnote-ref-366)
367. Bellenger, 1980. [↑](#footnote-ref-367)
368. Larson, 2004. [↑](#footnote-ref-368)
369. Там же. [↑](#footnote-ref-369)
370. Pelli, Farell & Moore, 2003. [↑](#footnote-ref-370)
371. Для английского языка автор приводит в пример пару «head» – «heat». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-371)
372. Для английского языка автор приводит в пример слово «test» и два варианта его написания с ошибкой: «tesf» и «tesg». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-372)
373. Ahissar & Hochstein, 2004. [↑](#footnote-ref-373)
374. Paap, Newsome & Noel, 1984. [↑](#footnote-ref-374)
375. Yoncheva, Blau, Maurer & McCandliss, 2006. [↑](#footnote-ref-375)
376. Rayner et al., 2001; Bitan & Karni, 2003. [↑](#footnote-ref-376)
377. Share, 1995, 1999. [↑](#footnote-ref-377)
378. Braibant & Gérard, 1996; Goigoux, 2000; Ehri, Nunes, Stahl et al., 2001; Ehri, Nunes, Willows et al., 2001. [↑](#footnote-ref-378)
379. Seymour, Aro & Erskine, 2003. [↑](#footnote-ref-379)
380. Черчилль, У. Мои ранние годы. – М.: Колибри, 2011. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-380)
381. См. Главу 2, раздел «Мозг китайских читателей». [↑](#footnote-ref-381)
382. Shaywitz, 2003. [↑](#footnote-ref-382)
383. Shaywitz et al., 1992. [↑](#footnote-ref-383)
384. Ramus, 2003; Vellutino, Fletcher, Snowling, & Scanlon, 2004. [↑](#footnote-ref-384)
385. Гипотезу дефицита зрительного внимания см. Valdois, Bosse, & Tainturier, 2004; Bosse, Tainturier, & Valdois, 2007. [↑](#footnote-ref-385)
386. «Crushing blow» (*англ.*) – «сокрушительный удар»; «blushing cow» (*англ.*) – «краснеющая корова». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-386)
387. Zoccolotti et al., 2005. [↑](#footnote-ref-387)
388. Это открытие, сделанное в конце 1970‑х годов (см., например, Liberman et al., 1971; Bradley & Bryant, 1978; Fischer, Liberman, & Shankweiler, 1978; Bradley & Bryant, 1983), было подтверждено и уточнено в ходе дальнейших исследований. Подробные ссылки указаны в библиографии. [↑](#footnote-ref-388)
389. Castles & Coltheart, 2004. [↑](#footnote-ref-389)
390. Leppanen et al., 2002; Richardson, Leppanen, Leiwo, & Lyytinen, 2003. Также см. Benasich & Tallal, 2002; Maurer, Bucher, Brem, & Brandeis, 2003. [↑](#footnote-ref-390)
391. Ahissar et al., 2000; Temple et al., 2000; Breier et al., 2001; Cestnick, 2001; Breier, Gray, Fletcher, Foorman, & Klaas, 2002. [↑](#footnote-ref-391)
392. Причинную. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-392)
393. Eden et al., 1996; Demb, Boynton, & Heeger, 1997; Demb, Boynton, Best, & Heeger, 1998; Demb, Boynton, & Heeger, 1998. [↑](#footnote-ref-393)
394. Kujala et al., 2001. [↑](#footnote-ref-394)
395. К сожалению, представители контрольной группы, по всей видимости, не получили никакого обучения вообще. Таким образом, успехи детей из целевой группы могут объясняться исключительно неспецифическим вниманием и компьютерной подготовкой. Чтобы установить, действительно ли невербальное сопоставление слуховых и зрительных сигналов оказывает положительное влияние на детей с дислексией, необходимы дальнейшие исследования. [↑](#footnote-ref-395)
396. См. Tallal & Gaab, 2006. [↑](#footnote-ref-396)
397. См. Ramus, 2003; Tallal & Gaab, 2006. [↑](#footnote-ref-397)
398. Nicolson, Fawcett, & Dean, 2001. Анатомические аномалии мозжечка действительно наблюдались в нескольких групповых исследованиях детей с дислексией (Eckert et al., 2003; Brambati et al., 2004). Необходимо отметить, однако, что мозжечковая теория отнюдь не исключает фонологического происхождения дислексии. Мозжечок – это «маленький мозг» внутри мозга, который связан практически со всеми основными областями коры. Он участвует практически во всех когнитивных функциях, включая речевую, фонологическую и орфографическую обработку. [↑](#footnote-ref-398)
399. Galaburda & Livingstone, 1993; Demb et al., 1997; Demb, Boynton, Best & Heeger, 1998; Demb, Boynton, & Heeger, 1998; Stein, 2001. [↑](#footnote-ref-399)
400. Ramus, Pidgeon, & Frith, 2003. [↑](#footnote-ref-400)
401. Ramus, Rosen et al., 2003; White et al., 2006. Четкое изложение зрительной теории дислексии см. Valdois, Bosse, & Tainturier, 2004. [↑](#footnote-ref-401)
402. Paulesu et al., 2001. [↑](#footnote-ref-402)
403. Siok et al., 2004. [↑](#footnote-ref-403)
404. На сегодняшний день мне известно об одном двуязычном ребенке, родившемся в Японии в англоговорящей семье. Он отлично читает по‑японски (как на кандзи, так и на кане), но не может читать по‑английски (Wydell & Butterworth, 1999). [↑](#footnote-ref-404)
405. Shaywitz et al., 1998; Brunswick et al., 1999; Georgiewa et al., 1999; Temple et al., 2001; Georgiewa et al. 2002; Shaywitz et al., 2002; McCrory et al., 2005. [↑](#footnote-ref-405)
406. Shaywitz et al., 2002. [↑](#footnote-ref-406)
407. Shaywitz et al., 1998; Georgiewa et al., 1999; Georgiewa et al., 2002. [↑](#footnote-ref-407)
408. Salmelin, Service, Kiesila, Uutela, & Salonen, 1996; Helenius, Tarkiainen, Cornelissen, Hansen, & Salmelin, 1999. [↑](#footnote-ref-408)
409. McCrory et al., 2005. [↑](#footnote-ref-409)
410. Zoccolotti et al., 2005. [↑](#footnote-ref-410)
411. Simos et al., 2000; Simos, Fletcher et al., 2002. [↑](#footnote-ref-411)
412. Silani et al., 2005. Частично схожие результаты см. Vinckenbosch, Robichon, & Eliez, 2005; Brown et al., 2001; Brambati et al., 2004. Помимо аномалий височной доли, в литературе сообщается и о других нарушениях: асимметриях в височной доле и мозжечке, снижении объемов серого вещества в нижнем отделе левой лобной доли, нижней теменной дольке, правом мозжечке и так далее (см., например, Brown et al., 2001; Eckert et al., 2003; Eckert, 2004). Лично я разделяю мнение Эральдо Паулесу, что эти наблюдения «могут быть важны для определения дислексии как неврологического синдрома и распределения лежащей в его основе патологии, но мало что говорят о том, какая морфометрическая аномалия обусловливает базовый нейропсихологический синдром». Также см. Vinckenbosch, Robichet & Eliez, 2005. [↑](#footnote-ref-412)
413. Galaburda et al., 1985. [↑](#footnote-ref-413)
414. Klingberg et al., 2000; Beaulieu et al., 2005; Deutsch et al., 2005; Silani et al., 2005; Niogi & McCandliss, 2006. [↑](#footnote-ref-414)
415. Paulesu et al., 1996. С другой стороны, пораженный пучок волокон может представлять собой вертикальную проекцию, выходящую из коры (Beaulieu et al., 2005; Niogi & McCandliss, 2006). В этом случае возможны двигательные нарушения артикуляции или снижение способности к овладению навыком письма. [↑](#footnote-ref-415)
416. Предполагающие непосредственное проникновение внутрь организма. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-416)
417. Galaburda, Menard, & Rosen, 1994. [↑](#footnote-ref-417)
418. Ramus, 2004. [↑](#footnote-ref-418)
419. Обзор этой увлекательной охоты за генами см. Grigorenko, 2003; Fisher & Francks, 2006; Galaburda, Lo Turco, Ramus, Fitch, & Rosen, 2006. [↑](#footnote-ref-419)
420. Meng et al., 2005; Paracchini et al., 2006. [↑](#footnote-ref-420)
421. Патология развития сосудов в головном или спинном мозге, при которой происходит скопление переплетенных между собой артерий и вен. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-421)
422. Экспрессия генов – процесс, в ходе которого информация от гена применяется в синтезе его функционального продукта (РНК или белка). (*Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-422)
423. См., например, Torgesen, 2005. [↑](#footnote-ref-423)
424. Для английского языка автор предлагает пару слов «*boy» – «toy». (Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-424)
425. Для английского языка автор предлагает такие слова, как «train», «ten» и «tug». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-425)
426. Для английского языка автор предлагает такие слова, как «brain», «Ben» и «bug». *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-426)
427. Kilgard & Merzenich, 1998. [↑](#footnote-ref-427)
428. Merzenich et al., 1996. [↑](#footnote-ref-428)
429. Wilson et al., 2006. [↑](#footnote-ref-429)
430. Kujala et al., 2001; Simos, Fletcher et al., 2002; Temple et al., 2003; Eden et al., 2004. [↑](#footnote-ref-430)
431. Связанная с инструментальным вмешательством. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-431)
432. Кэрролл, Л. Алиса в Стране Чудес. Алиса в Зазеркалье. – М.: Эксмодетство, 2020. (*Прим. перев*.) [↑](#footnote-ref-432)
433. Cornell, 1985; McMonnies, 1992; Wolff & Melngailis, 1996. [↑](#footnote-ref-433)
434. Corballis, Macadie, Crotty, & Beale, 1985; Wolff & Melngailis, 1996; Terepocki, Kruk, & Willows, 2002; Lachmann & Geyer, 2003. [↑](#footnote-ref-434)
435. Новая научная теория возникновения и развития живых организмов, согласно которой все существа были созданы «разумным творцом», а не развились в ходе эволюции. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-435)
436. Gould, 1992. [↑](#footnote-ref-436)
437. Corballis & Beale, 1976. [↑](#footnote-ref-437)
438. Beale, Williams, Webster, & Corballis, 1972. [↑](#footnote-ref-438)
439. Tarr & Pinker, 1989. [↑](#footnote-ref-439)
440. Biederman & Cooper, 1991; Fiser & Biederman, 2001. [↑](#footnote-ref-440)
441. Corballis & Beale, 1976. [↑](#footnote-ref-441)
442. Rollenhagen & Olson, 2000. [↑](#footnote-ref-442)
443. Orton, 1925, 1937. [↑](#footnote-ref-443)
444. Orton, 1925, c. 607. [↑](#footnote-ref-444)
445. Corballis & Beale, 1976, 1993. [↑](#footnote-ref-445)
446. Заманчиво предположить, что за этот процесс отвечает ген ROBO1, мутация которого была ассоциирована с дислексией (Hannula‑Jouppi et al., 2005) и который, как известно из исследований на животных, регулирует рост аксонов вдоль срединной линии мозга. [↑](#footnote-ref-446)
447. Rollenhagen & Olson, 2000; Baylis & Driver, 2001. [↑](#footnote-ref-447)
448. Logothetis, Pauls, & Poggio, 1995. [↑](#footnote-ref-448)
449. Perrett, Mistlin, & Chitty, 1989. [↑](#footnote-ref-449)
450. Rodman, Scalaidhe, & Gross, 1993. [↑](#footnote-ref-450)
451. Bornstein, Gross, & Wolf, 1978. [↑](#footnote-ref-451)
452. Sasaki et al., 2005. [↑](#footnote-ref-452)
453. Mello, 1965, 1966, 1967. [↑](#footnote-ref-453)
454. Хотя ранее автор писал, что у людей информация от сетчатки так же передается в зрительную кору противоположного полушария, для нас с вами это не совсем верно. У людей в области зрительного перекреста, или хиазме – области, где зрительные пути, идущие от глаз, пересекаются и переходят на противоположную сторону, – происходит раздвоение проводящих путей. Часть волокон уходит на другую сторону, а часть остается на «своей», то есть сигнал от одного глаза фактически передается в зрительную кору обоих полушарий. Из‑за особенностей дальнейшей обработки информации это не влияет на результаты приведенных ранее экспериментов, поэтому при их описании эту анатомическую подробность опускают. Но схема «стимуляция одного глаза – активация одного полушария» без повреждений мозга возможна только у голубей. *(Прим. науч. ред.)* [↑](#footnote-ref-454)
455. Abel, O’Brien, & Olavarria, 2000; Houzel, Carvalho, & Lent, 2002; Olavarria & Hiroi, 2003. [↑](#footnote-ref-455)
456. См. Olavarria & Hiroi, 2003. [↑](#footnote-ref-456)
457. В частности, см. Ungerleider & Mishkin, 1982; Goodale & Milner, 1992. [↑](#footnote-ref-457)
458. Turnbull, 1997; Turnbull, Beschin, & Della Sala, 1997. [↑](#footnote-ref-458)
459. Walsh & Butler, 1996. [↑](#footnote-ref-459)
460. Turnbull & McCarthy, 1996. [↑](#footnote-ref-460)
461. Davidoff & Warrington, 2001; Priftis, Rusconi, Umilta, & Zorzi, 2003. Также см. Feinberg & Jones, 1985; Riddoch & Humphreys, 1988; Davidoff & Warrington, 1999; Warrington & Davidoff, 2000. [↑](#footnote-ref-461)
462. Danziger & Pederson, 1998. [↑](#footnote-ref-462)
463. Гемиплегия – полный паралич конечностей одной половины тела. *(Прим. науч. ред.)* [↑](#footnote-ref-463)
464. Gottfried, Sancar, & Chatterjee, 2003. [↑](#footnote-ref-464)
465. Первые два слова несуществующие, третье – типично английское слово («pastor»). *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-465)
466. Streifler & Hofman, 1976; Heilman, Howell, Valenstein, & Rothi, 1980; Wade & Hart, 1991; Lambon‑Ralph, Jarvis, & Ellis, 1997; Pflugshaupt et al., 2007. [↑](#footnote-ref-466)
467. Lambon‑Ralph, Jarvis, & Ellis, 1997. [↑](#footnote-ref-467)
468. Streifler & Hofman, 1976. [↑](#footnote-ref-468)
469. Wolff & Melngailis, 1996. [↑](#footnote-ref-469)
470. Liberman et al., 1971; Fischer, Liberman, & Shankweiler, 1978; Wolff & Melngailis, 1996. [↑](#footnote-ref-470)
471. McCloskey et al., 1995; McCloskey & Rapp, 2000. [↑](#footnote-ref-471)
472. Galaburda & Livingstone, 1993; Demb, Boynton, & Heeger, 1997; Demb, Boynton, Best, & Heeger, 1998; Demb, Boynton, & Heeger, 1998; Stein, 2001. [↑](#footnote-ref-472)
473. Valdois, Bosse, & Tainturier, 2004; Bosse, Tainturier, & Valdois, 2007. [↑](#footnote-ref-473)
474. Gentaz, Colé, & Bara, 2003. [↑](#footnote-ref-474)
475. Борхес Х. Л. Вавилонская библиотека // Х. Л. Борхес. Вавилонская библиотека и другие рассказы; пер. В. С. Кулагина‑Ярцева. – Харьков: Фолио, 1999. (*Прим. перев*.) [↑](#footnote-ref-475)
476. Changeux & Danchin, 1976; Changeux, 1983; Changeux & Connes, 1989; Changeux, 2002. [↑](#footnote-ref-476)
477. Wilson, 1998. [↑](#footnote-ref-477)
478. Chomsky, 1986. [↑](#footnote-ref-478)
479. Sperber, 1974. [↑](#footnote-ref-479)
480. Brown, 1991. [↑](#footnote-ref-480)
481. Sperber & Hirschfeld, 2004; также см. Atran, Medin & Ross, 2005. [↑](#footnote-ref-481)
482. Fodor, 1983. [↑](#footnote-ref-482)
483. Kanwisher, McDermott, & Chun, 1997. [↑](#footnote-ref-483)
484. Atran, 1990; Berlin, 1992. [↑](#footnote-ref-484)
485. Caramazza & Shelton, 1998; Chao, Haxby, & Martin, 1999; Pouratian et al., 2003. [↑](#footnote-ref-485)
486. Dehaene, 1997; Butterworth, 1999. [↑](#footnote-ref-486)
487. Pica, Lemer, Izard, & Dehaene, 2004; Dehaene, Izard, Pica, & Spelke, 2006. [↑](#footnote-ref-487)
488. Dehaene, Piazza, Pinel, & Cohen, 2003; Cantlon, Brannon, Carter, & Pelphrey, 2006. [↑](#footnote-ref-488)
489. Гомологи – вещества одного класса, имеющие разный состав, но схожие по строению и свойствам. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-489)
490. Nieder & Miller, 2004. [↑](#footnote-ref-490)
491. Changeux, 1994. [↑](#footnote-ref-491)
492. Ramachandran, 2005. [↑](#footnote-ref-492)
493. Zeki, 2000. [↑](#footnote-ref-493)
494. Направление французской живописи. *(Прим. науч. ред.)* [↑](#footnote-ref-494)
495. Wallin, Merker, & Brown, 2000. [↑](#footnote-ref-495)
496. Сливающиеся в звучании; хорошо ложащиеся на слух. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-496)
497. Резкие созвучия, которые конфликтуют между собой. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-497)
498. Atran, 2002; Boyer, 2002; Dennett, 2006. [↑](#footnote-ref-498)
499. Киплинг Р. Просто сказки. – М.: Радуга, 2008. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-499)
500. Этология – направление зоологии, изучающее генетически детерминированные программы поведения животных. *(Прим. науч. ред.)* [↑](#footnote-ref-500)
501. Whiten et al., 1999; Byrne et al., 2004. [↑](#footnote-ref-501)
502. Boysen, Berntson, & Prentice, 1987; Tanaka, Tomonaga & Matsuzawa, 2003. [↑](#footnote-ref-502)
503. Coqueugniot et al., 2004. [↑](#footnote-ref-503)
504. Logothetis, Pauls, & Poggio, 1995. [↑](#footnote-ref-504)
505. Matsuzawa, 1985; Washburn & Rumbaugh, 1991; Kawai & Matsuzawa, 2000. [↑](#footnote-ref-505)
506. Iriki, 2005. [↑](#footnote-ref-506)
507. Tomasello, 2000b, с. 37; также см. Tomasello 2000a; Tomasello et al., 2005. [↑](#footnote-ref-507)
508. В научной и научно‑популярной литературе можно встретить и другие варианты перевода английского термина *theory of mind* – «модель психики человека», «теория намерений», «теория разума» и др. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-508)
509. Gergely, Bekkering, & Kiraly, 2002. [↑](#footnote-ref-509)
510. Tomasello, Strosberg, & Akhtar, 1996. [↑](#footnote-ref-510)
511. Van Essen et al., 2001. [↑](#footnote-ref-511)
512. Van Essen et al., 2001; Schoenemann, Sheehan, & Glotzer, 2005. [↑](#footnote-ref-512)
513. Elston, Benavides‑Piccione, & DeFelipe, 2001. [↑](#footnote-ref-513)
514. Nimchinsky et al., 1999. [↑](#footnote-ref-514)
515. Bianchi, 1921. [↑](#footnote-ref-515)
516. В ориг. цит. по: Finger, 1994, c. 19. [↑](#footnote-ref-516)
517. Авиценна. Избранные философские произведения. – М.: Наука, 1980. *(Прим. перев.)* [↑](#footnote-ref-517)
518. Dehaene & Changeux, 2005. [↑](#footnote-ref-518)
519. Raichle et al., 2001; Laufs et al., 2003; Fox et al., 2006. [↑](#footnote-ref-519)
520. Возникающая и развивающаяся в организме по внутренним причинам. *(Прим. ред.)* [↑](#footnote-ref-520)
521. Laureys, 2005. [↑](#footnote-ref-521)
522. Стохастический – имеющий случайную, непредсказуемую природу. *(Прим. науч. ред.)* [↑](#footnote-ref-522)
523. Аналогичную гипотезу в области математики см. Nunez & Lakoff, 2000. [↑](#footnote-ref-523)
524. Cheng & Gallistel, 1986; Hermer & Spelke, 1996. [↑](#footnote-ref-524)
525. Иную точку зрения см. Gouteux, Thinus‑Blanc & Vauclair, 2001. [↑](#footnote-ref-525)
526. Karmiloff‑Smith, 1992. [↑](#footnote-ref-526)
527. Dehaene, 1997. [↑](#footnote-ref-527)
528. Mithen, 1996. [↑](#footnote-ref-528)
529. Анн Фаго‑Ларже (Anne Fagot‑Largeault), конференция в Коллеж де Франс, 13 октября 2006. [↑](#footnote-ref-529)
530. Издания, переведенные на русский язык, указаны в конце списка [↑](#footnote-ref-530)