

# Мозг. Инструкция пользователя

**Автор:**

Марко Магрини

Мозг. Инструкция пользователя

Марко Магрини

Научпоп для всех

Анатомически мозг человека очень хорошо изучен. Исследованиям и экспериментам несть числа: мозг многократно резали на тончайшие слои, просвечивали рентгеновскими лучами до клеток и молекул, рассматривали в магнитно-резонансных и позитронно-эмиссионных томографах, измеряли в электрических и магнитных полях изнутри и снаружи... И вместе с тем на вопросы о многих функциях мозга ученые до сих пор чистосердечно отвечают: не знаю. Что уж говорить об обывателях. Мозг невероятно сложен: а ведь все мы – «пользователи» мозга! Можно ли обычному человеку не только объяснить, как работает мозг, но и толком научить людей им пользоваться? Марко Магрини предпринял достойную попытку справиться с этой задачей.

Марко Магрини

Мозг. Инструкция пользователя

© Соколова М., перевод на русский язык, 2019

© ООО «Издательство АСТ», 2019

О книге Марко Магрини «Мозг. Руководство пользователя»

Мир вокруг нас стремительно меняется во многих отношениях. В этом движении едва ли не опережающими темпами меняются предпочтения читателей: все больше интереса к природе самого человека, к ресурсам его психических функций, к загадкам необычных способностей и всевозможным методам развития этих способностей, к тайнам строения и механизмов мозга, наконец, к возможностям его футуристических апгрейтов. Однако мало кто задумывается, что мозг человека, так же как и сердце, и желудок, требует бережного к нему отношения: необходимо, чтобы под рукой всегда были «инструкции», как им пользоваться и как «починить» в случае чего. Книга замечательного научного журналиста Марко Магрини «Мозг. Руководство пользователя» как раз об этом. Анатомически мозг человека очень хорошо изучен, уже многократно порезан на тончайшие слои и просвечен рентгеновскими лучами, до клеток и молекул, рассмотрен в магнитно-резонансных и позитронно-эмиссионных томографах, измерен в электрических и магнитных полях изнутри и снаружи. И все это богатство новейших профессиональных знаний автор просто и очень доступно изложил в первых главах своей книги. Понятно, что как бы хорошо ни было описано некое электронное устройство, каким бы образным языком автор ни рассказывал о транзисторах, о схемах их объединения в чипы, а потом и в целые функциональные агрегаты, – понять, что это, к примеру, всего лишь блок управления стиральной машиной, было бы невозможно, если не посмотреть его в действии. Мозг в действии – это следующие несколько глав книги. Здесь не только про управление руками и ногами и про органы чувств – здесь вся палитра психической активности мозга: от памяти и мышления до принятия решений и сознания, от элементарных эмоций и аффектов до эстетических чувств. Рассказано даже о свободе воли, о любви и счастье. Может, в этом месте мы не все согласимся с таким авторским пассажем: «Любовь живет вовсе не в сердце. Она обитает в мозгу, в особом нежном участке лимбической системы. Это, конечно, не значит, что нужно всерьез запретить все песни и стихи о сердце, полном любви, однако наше время открыло суровую реальность: любовь – это не что иное, как деятельность нейронов». И далее автор вконец разрушает наши детские представления о спящих красавицах и прекрасных принцах, переводя их романтические отношения в какие-то перетасовки между нейронами, погруженными в коктейли из гормонов и медиаторов. Но в конечном итоге Марко Магрини все-таки проговаривается об истинном положении дел: «Так называемая романтическая любовь – счастливый дар, отклонение, характерное для цивилизации *sapiens*». Это, оказывается, и есть лейтмотив всей книги: мы с вами и наш мозг – счастливый дар. И уже в исследовании мозговых «механизмов» счастья автор приходит к удивительному выводу: «Хоть нам и кажется порой, что все пропало, но поверьте, всегда найдется тот, кому

значительно хуже, чем нам; одна эта мысль запросто может запустить выработку дофамина». Оказывается, при всем уважении к нейрофизиологам с их нейронными разработками, все обстоит совсем наоборот: игрой нейронов и медиаторов управляют... мыслительные конструкции, наши психические образы, наши мечты и чувства. Это признак очень хорошей научно-популярной литературы, когда автор не навязывает читателю ученые премудрости, но умело стимулирует читателя к творческим трактовкам академически верифицированных фактов. К тем самым творческим актам, которые, по словам автора, «скоро поменяются ролями с глобальной экономической конкуренции, и станут движителем прогресса, поскольку новизна идей начинает играть более важную роль, чем стоимость товара». Этот дискурс про творческое начало в деятельности мозга человека автор продолжает в заключительных главах про «версии будущего» и искусственный разум. Его совершенно не впечатляют достижения современных версий искусственного интеллекта, запросто обыгрывающего великих шахматистов и титулованных игроков в го и в Jeopardy. «Выход на сцену искусственного интеллекта произойдет неизбежно и принесет новые проблемы и новые успехи, и это событие обещает новую волну технологического прогресса...» – пишет Марко Магрини. Но в отличие от систем искусственного интеллекта «... в любом новом изобретении человека есть частичка божества». Автор оставляет нас с мыслью об этой «частичке божества», которая всегда будет отличать интеллект человека от любых искусственных конструкций, как бы много они ни запоминали и как бы быстро ни считали.

Александр Каплан,

доктор биологических наук, заведующий лабораторией нейрофизиологии и нейроинтерфейсов на биологическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова, автор научно-популярной книги «Тайны мозга»

Вместо вступления

Спасибо большое, дорогой читатель, что вы приобрели эту книгу, написанную специально для вас. Прошу вас прочесть ее внимательно, и по возможности всегда держите ее под рукой, на тот случай, когда вам потребуется найти ответ на ваш вопрос.

Наш мозг служит нам безупречно, и это поразительно. Он обеспечивает одновременную работу органов чувств, через которые в него поступает информация об окружающей среде, нервной системы, отвечающей за двигательные способности, в нем безостановочно кипит работа сознания, от которой зависит понимание ситуации и принятие решений. А еще мы пользуемся всем этим в течение достаточно долгих лет!

Знаменитый изобретатель Томас Эдисон однажды заявил, что «наше тело служит в основном носителем для мозга». Этой странной фразой он хотел сказать, что мы суть наш мозг.

В мире издаются миллионы учебных пособий. На сайте [www.manualsonline.com](http://www.manualsonline.com) их 700 тысяч, и многие из них посвящены машинам самого разного предназначения – от фритюрницы до газонокосилки, от электрической зубной щетки до автоматической гаражной двери. Однако в этом море разнообразной технической информации не найти материалов о самой совершенной машине в мире, которой к тому же обладает каждый человек. Мозг и в самом деле является машиной, по крайней мере в том смысле, что он непрерывно совершает множество расчетов, расшифровывая одновременно огромный объем информации, поступающей от параллельно действующих сенсорных устройств, из коих самым сложным, пожалуй, является наше зрение. Работу мозга можно описать с помощью набора алгоритмов – как если бы наш разум пропускал полученную информацию через специальную программу, установленную на оборудовании, спрятанном в нашей голове.

Конечно, мозг не является машиной в буквальном смысле слова. В нем нет ни программного обеспечения, ни оборудования. Некоторые специалисты называют его *wetware* – «влажное оборудование» (по аналогии с английским названием *software*, обозначающим программное обеспечение), подчеркивая тем самым его биологическое, природное происхождение. Мозг является самым восхитительным – и самым загадочным – продуктом эволюции. Восхитительным, поскольку ничто другое во Вселенной не может сравниться с ним по степени сложности. Несмотря на то что он состоит из тех же атомов периодической таблицы Менделеева, что и звезды, он способен на поразительные вещи: мыслить, говорить и действовать. И тем самым участвовать в создании собственного мира.

И он загадочен, поскольку наука – его собственное создание – не может сказать, что знает о нем достаточно. Да какой там достаточно – почти ничего не знает!

Ученые не только не знают толком, как мозг функционирует, но и не могут прийти к согласию, что вообще можно считать реальностью. Вообразите, что определение сознания, самого главного свойства мозга, потребовало столетий яростных дискуссий, так и не приведших к единому мнению. И спорят о мозге не только философы и теологи.

В качестве примера можно также привести отсутствие единого мнения по проблеме знакомого всем людям временного отключения сознания, именуемого сном: существует не менее двух десятков различных теорий, почему мозгу нужно периодически засыпать (при этом продолжая работу). Если на то пошло, нет и общей теории нарушений сна и вызванных ими недугов типа депрессии. Да и о самой депрессии единой научной теории не существует. И так до бесконечности.

Но тем не менее современная наука знает о мозге уже довольно много. Древние философы спорили, где находится разум – в голове или в сердце, и некоторые авторитеты, например Аристотель, склонялись ко второму месту. Сегодня же мы знаем, что мозг является центром контроля нервной системы всех представителей позвоночных и значительной части беспозвоночных. Мы знаем, как мозг эволюционировал и из чего состоит, знаем, что в каждой его клетке хранится генетический код, и можем его прочесть. У нас есть специальные технологии типа МРТ (магнитно-резонансная томография) и МЭГ (магнитоэнцефалография), которые позволяют наблюдать когнитивные функции в действии. Можно сказать, что мы на бешеной скорости продвигаемся по пути познания систем функционирования мозга.

Инструкцию по пользованию холодильником составляет специалист по холодильникам. Наш мозг является продуктом эволюции, которой потребовались миллионы лет на его создание, и только он сам может подобрать ключи к самому себе, и на их поиск ушли труды многих поколений ученых, искавших разгадку этой тайны. Эволюция жизни на Земле создала условия для эволюции разума, который неизбежно пытается познать сам себя.

Труд, который содержал бы все, что мы знаем или полагаем, что знаем о мозге, был бы монументальным томом, доступным только специалистам по высшей нервной деятельности. Настоящее сочинение предназначено, наоборот, для

самых обычных читателей, у которых, как и у всех, тоже есть мозг. Эта книга представляет собой сборник простых объяснений одной из самых сложных вещей на свете, и они, эти объяснения, смогут, я надеюсь, принести пользу вам в вашей повседневной жизни.

«Если бы человеческий мозг был так прост, что мы могли бы его понять, мы были бы так просты, что не смогли бы его понять». Этот знаменитый афоризм столь знаменит, что его приписывают по крайней мере трем разным авторам[1 - Цитату Джордж Эдгин Пью в своей книге «The biological origin of human values» («Биологическое происхождение человеческих ценностей») приписал своему отцу Эммерсону Л. Пью. Некоторые считают ее фразой из книги Ларри Чанга «Wisdom for the soul» («Мудрость для души»). Числится среди потенциальных авторов и математик Иэн Стюарт.]

В конце концов человечеству удастся прийти к разгадке тайны мозга, мы в этом уверены. Это вопрос времени. Не завтра, но через двадцать, сто или двести лет представители вида *Homo sapiens* смогут понять, как устроен их собственный мозг. Однако только на формулирование вопросов у нас ушло несколько сотен веков – с момента появления нашего вида в результате эволюции.

Настоящее руководство не заглядывает ни в историю блужданий в потемках невежества, ни в отдаленное, плохо предсказуемое будущее научного знания. Мы рассмотрим, с чем мы имеем дело сегодня в области знаний о человеческом мозге. На самом деле знаний этих намного больше, чем вы можете себе представить.

Возможности современных технологий, а также поразительные открытия в области нейробиологии, сделанные за последние двадцать лет, ежедневно подтверждают гениальное предвидение Сантьяго Рамон-и-Кахаля, одного из отцов-основателей современной нейрофизиологии. Еще в 1897 году он написал: «Каждое человеческое существо, при определенной склонности к познанию, может стать исследователем собственного мозга». Нам повезло, что его мозг, как в общем-то и мозг любого другого человека, умел задаваться вопросами «как?» и «почему?».

1. Какими мы видим самих себя

Каждую секунду, и в том числе когда вы читаете эти строки, в нервной системе человека происходят миллионы химических реакций, которые мы не ощущаем. Эти процессы служат мозгу языком, на котором он общается с нашим организмом: получает информацию, обрабатывает и передает команды.

Ученые прошлого действительно полагали, что мозг является механизмом. Рене Декарт сравнивал его с гидравлическим насосом, Зигмунд Фрейд – с паровой машиной, а Алан Тьюринг – с компьютером, – каждый мыслитель выдвигал идею в соответствии с техническими достижениями своего времени. Естественно, что Тьюринг подошел ближе всех к современным взглядам на мозг. Конечно, в прямом смысле слова мозг компьютером не является, однако у них довольно много общего. Оба «устройства» передают информацию с помощью электрических импульсов.

В компьютере информация зашифрована с помощью двоичного цифрового кода (сочетание единиц и нулей), а способ передачи информации в мозге можно назвать аналоговым (колебания электрического потенциала в диапазоне нескольких милливольт). Это чрезвычайно сложный процесс: когда объем поступающей информации вдруг превышает некий уровень, нейрон в буквальном смысле «выстреливает» электрическим зарядом в соединенный с ним соседний нейрон. Но до тех пор, пока уровень не будет превышен, не произойдет ничего. Во многом это похоже на действие двоичного цифрового кода: да – ток включен, нет – выключен [см. «Синапсы», стр. 33].

Оба процесса в принципе можно выразить с помощью вычислений, однако компьютер действует последовательно, в единицу времени он производит лишь одну из прописанных в программе операций. А вот мозг умудряется выполнять операции параллельно, делая одновременно множество самых разных расчетов и оценок [см. «Чувства», стр. 115]. Но будущее уже на пороге – микропроцессоры, предназначенные для графических приложений (так называемые ГПУ, графическое процессорное устройство, специальный микрочип), используют технологию параллельных вычислений.

Обоим этим устройствам, что мозгу, что компьютеру, требуется питание. Компьютер потребляет пищу в виде электронов, а мозг – в виде молекул кислорода и глюкозы [см. «Питание», стр. 101]. Оба обладают памятью – первый использует кремниевые полупроводниковые пластины, второму же достаточно несколько раз повторить синаптическое соединение. Человеческая память

строится на обучении, упражнении и повторении [см. «Память», стр. 83].

Оба устройства менялись с течением времени, но совсем по-разному: развитие вычислительной техники носит экспоненциальный характер – количество операций, производимых в единицу времени, удваивается каждые два года; мозгу же Homo sapiens понадобилось не менее 500 миллионов лет, чтобы превратиться из достаточно примитивного органа первых позвоночных в то, что находится сегодня в нашей голове. Скорость, с которой происходят изменения, совершенно иная – за последние 50 тысяч лет человеческий мозг практически не изменился, и сегодня в голове у Homo sapiens функционирует та же «модель», что и у предков [см. «Топография», стр. 53].

На протяжении долгих веков ученые считали, что человеческий мозг практически не изменяется, за исключением периода детства, когда люди учатся ходить и говорить. Они полагали, что мозг не поддается лечению и восстановлению после травм и повреждений, а отстающий в учебе ребенок является навеки заложником ограниченных когнитивных способностей. Эти убеждения создавали почву для всевозможных видов социального неравенства, бремя которых считалось долгие годы фатальным – низшие слои общества были обречены на дурные привычки и зависимости. До последнего времени считалось, что в восемьдесят лет человек не может иметь такую же память, как в пятьдесят.

Только в 70-х годах XX века исследователи смогли убедиться, что на самом деле все обстоит совершенно по-другому: мозг непрерывно меняется. Именно изменения лежат в основе любой мозговой деятельности. Способность мозга к изменениям, которую ученые называли «пластичностью мозга» [см. «Пластичность», стр. 87], превзошла все ожидания – мозг оказался весьма схожим с компьютером, процессы которого идут в асинхронном и параллельном режиме. К тому же этот компьютер способен по ходу работы менять собственное программное обеспечение. Это чрезвычайно хитроумное программное обеспечение, записанное с помощью атомов и молекул, связывает в единую сеть около 86 миллиардов нейронов, помещающихся примерно в полтора килограмма мозгового вещества. Каждый нейрон способен не менее 200 раз в секунду передавать сигналы тысячам соседних нейронов – в результате мозг способен совершать примерно 38 миллионов миллиардов операций в секунду! Распространенное заблуждение, что человек использует свой мозг всего на 10 %, является не более чем мифом [см. «Опровержение распространенных мифов», стр. 225].

Самое потрясающее, что наш мозг потребляет на эти процессы не более 13 ватт/час. Ни один компьютер в мире пока не может сравниться с вычислительными способностями человеческого мозга («вычисления» в данном контексте обеспечивают функционирование зрения, слуха, воображения), с его потрясающей энергетической эффективностью. И это только начало.

Почти все клетки человеческого организма находятся в процессе непрерывного рождения, развития, умирания. Все, кроме нервных, – они сопровождают человека всю его жизнь, от рождения до смерти [см. «К концу жизни», стр. 230]. Именно они делают человека человеком. Индивидуальность, способности и таланты, знания и словарный запас, наклонности и вкусы, даже воспоминания о прошлом записаны в личной нейронной карте [см. «Личность», стр. 166]. В мире нет двух людей с одинаковым мозгом, даже мозги близнецов не идентичны.

Поразительно, но это устройство способно, в определенных пределах, починить самое себя. Когда какой-либо его участок оказывается поврежденным в результате несчастного случая, мозг способен перепрограммироваться, перенести самостоятельно функции из раненых областей в здоровые [см. «Зрение», стр. 121]. Иногда перераспределение деятельности может затронуть весьма обширные области мозга (например, в случае утраты зрения области, ответственные за визуальные способности, перераспределяются между другими чувствами), но обычно оно затрагивает небольшие участки, поскольку многие нейроны в течение нашей жизни умирают и не восстанавливаются. При этом живые нервные клетки прекрасно знают, как им нужно реорганизоваться, чтобы последствия гибели нервной ткани не сказались на человеческом существовании фатальным образом [см. «Развитие способностей мозга», стр. 243]. В обычном процессоре поломка транзистора на одной из кремниевых плат может привести к прекращению работы компьютера. В мозге же в случае отказа одного из синапсов, ответственного за обеспечение 150 тысяч миллиардов связей между нейронами, сигнал тревоги не успевает включиться – процессы переключаются спонтанно.

Влияние одного-единственного нейрона на сотни связанных с ним клеток нервной ткани может быть и сильным, и очень слабым, в зависимости от прочности и устойчивости синапса. Согласно правилу, сформулированному канадским ученым Дональдом Хеббом в 1949 году, «Neurons that fire together, wire together» («Нейроны, которые вместе возбуждаются, соединяются вместе»). Нейроны, через которые нервный импульс проходит одновременно, соединяются и усиливают друг друга.

Благодаря этой способности мозг может постепенно преобразовывать отдельные участки: создавать новые синапсы, усиливать способности действующих, удалять нефункционирующие [см. «Первые шаги», стр. 97]. Значительное количество мозговых функций – например, способность к обучению – зависит от постоянного обновления синаптических соединений, от их мощности и устойчивости. В конечном счете, опровергая научные взгляды прошлого, можно утверждать, что к человеческому мозгу неприменимы понятия неизменности и постоянства:

- Мозг постоянно находится в состоянии самосохранения.
- Ребенок, считавшийся «безнадежным двоечником», может внезапно «научиться учиться»; надо просто поощрять его, а не убивать на корню любую инициативу [см. «Обучение», стр. 179].
- С любой вредной привычкой, сколь бы застарелой и милой сердцу она ни была, можно расстаться. Даже сильные зависимости, такие как игромания, могут быть поставлены под контроль и подчинены воле человека [см. «Привычки и зависимости», стр. 212].
- Старушка может сохранить память молодой женщины, если не прекратит учиться и напрягать умственные способности [см. «Учиться, учиться и еще раз учиться», стр. 235].
- А вот длительный стресс, даже если он не приводит к посттравматическому синдрому, вызывает необратимые изменения в мозгу, причем в долгосрочной перспективе [см. «Хронический стресс», стр. 216].

Внимание: эта книга является научно-популярной [см. «Правовая информация», стр. 268]. В случаях мозговых патологий или серьезных нарушений нервной деятельности следует обращаться к специалистам, которые могут оказать необходимую помощь и провести соответствующее лечение [см. «Неполадки», стр. 220].

Если продолжать аналогии с компьютером, люди являются «пользователями» мозга, но «пользователями» привилегированными – с помощью желаний, то есть некоего волеизъявления, мы способны изменять, наращивать, настраивать, пусть частично, нашу собственную синаптическую систему [см. «Панель

управления», стр. 170]. Нечто, сказанное мимоходом, может изменить жизнь.

Люди ждут контактов с внеземной цивилизацией, воображают инопланетян, превосходящих нас интеллектуально, и при этом имеют под рукой мозг *Homo sapiens*, по-прежнему остающийся самой необыкновенной, поразительной и фантастической вещью на свете. Он настолько сложно и хитроумно устроен, что его нейроны способны производить мысли и хранить воспоминания. И он абсолютно индивидуален – создан для каждого пользователя персонально. Глубокое изумление охватывает исследователя, внезапно понимающего, что нет в мире ничего, что могло бы сравниться с этим биологическим устройством, способным с невероятной эффективностью производить сложнейшие расчеты. Попробуем же заглянуть в этот удивительный орган.

## 1.1. Технические характеристики

## 1.2. Версия операционной системы

Современной версии «операционной системы», которая работает в мозге человека, можно, по аналогии с компьютером, присвоить номер 4.3.7 (G-3125)[2 - В названии версии 4.3.7 (G-3125):4 = беспозвоночные/позвоночные/млекопитающие/приматы;3 = гоминиды/австралопитеки/род *Homo*;7 = *Homo habilis*/*Homo ergaster*/*Homo erectus*/*Homo antecessor*/*Homo heidelbergensis*/*Homo sapiens*/ *Homo sapiens sapiens*;G-3125 = количество поколений (приблизительно), предшествовавших появлению современного человека (*Homo sapiens sapiens*) и его мозга.]. Ее можно квалифицировать как нервную систему, последовательно эволюционировавшую в течение миллионов лет посредством генетических мутаций и предназначенную для идеального функционирования человеческой особи на данной планете.

О новых версиях системы (в настоящий момент недоступны) можно получить информацию в разделе «Версия будущего» [см. стр. 252].

## 2. Из чего состоит мозг

С точки зрения врача-анатома, мозг представляет собой единое целое. Однако это не так. Строение мозга часто упрощают, представляя его чем-то вроде нейронной сети, но он далеко не однороден. Ближе к истине представление о мозге как о сложной сети, состоящей из нескольких подсетей, каждая из которых включает в себя собственные подсети.

Даже одна-единственная клетка мозговой ткани [см. «Нейроны», стр. 26] представляет собой важное звено цепи, управляемое инструкциями, закодированными в генах. Клетка, в свою очередь, отвечает за действие миллионов ионных каналов, натриево-калиевых насосов и других химико-биологических образований, которые определяют электрический потенциал клеточной мембраны, то есть разницу напряжения внутри и снаружи клетки. Однако клетка сама по себе ничего не значит в работе мозга, вычислительный процесс возможен только во время соединения нейрона с другими нейронами. Информация на самом деле хранится не в клетках головного мозга, она остается в соединениях между клетками – в так называемых синапсах [см. стр. 33].

Рядовой нейрон имеет несколько тысяч связей с многочисленными постсинаптическими нейронами, расположенными рядом. Соседствующие нейроны организуются в функциональные группы, так называемые ансамбли. Например, только в одном лишь гипоталамусе [см. стр. 65], имеющем размер чуть больше миндального ореха, их не менее пятнадцати, и каждый ансамбль выполняет свою функцию. Нейроны могут подключаться также к цепям, формирующим церебральные каналы, которые отвечают за особые функции мозга – например, такие, как сон или концентрация внимания. Нейронные цепочки тоже могут объединяться, чтобы усилить разрозненные действия, – и мы получаем на выходе способность к связной речи или чувство эмпатии. Мозг, таким образом, представляет собой монументальную сеть, способную производить такие таинственные вещи, как сознание и мышление [см. стр. 90].

Система связей в мозге не была бы столь потрясающе эффективной, если бы все ее процессы не дублировались параллельной сетью, которая тесно перепутана с нейронной, по сути, обвивая ее, как лоза: эта сеть сформирована глиальными клетками [см. стр. 46], они снабжают нейроны питанием, кислородом, выводят отходы жизнедеятельности. Вдобавок глиальные клетки обеспечивают невероятную скорость, с которой действуют аксоны – клеточные отростки, служащие путями передачи импульсов на далекие расстояния [см. стр. 32]. Аксоны покрыты слоем беловатой жировой ткани, называемым миелином. Несколько упрощая, можно сказать, что она усиливает сигнал [см. стр. 50]. Кора головного мозга, которая в отличие от остальной мозговой ткани состоит из шести слоев, подчиняющихся строгой иерархии, обязана эффективностью именно высокой скорости, с которой нервные импульсы проходят большие расстояния.

Поразительно, общая длина волокон миелина человеческого мозга (включая и волокна, что соединяют между собой полушария, формируя так называемое мозолистое тело) оценивается в примерно 150 тысяч километров. Это равно четырем окружностям земного экватора!

Следует отметить, что эта чудовищно сложная сеть играет важную роль и в функционировании обоих полушарий головного мозга (правое и левое полушария отвечают за противоположные части тела), и в работе различных мозговых долей и областей коры (отвечающих за процесс мышления и исполнительные функции), и в деятельности всех других составных частей церебрального аппарата, каждая из которых обладает строго определенным количеством нейронов определенного назначения. Каждый из нейронов находится на строго определенном месте в иерархии, в соответствии с предписанными ему функциями. Говоря другими словами, мозговая нейронная сеть состоит из многочисленных подсетей. Древние пирамиды Гизы, «Джоконда», «Реквием» Моцарта, открытие гравитации или эволюции – примеры чудес, которые могут создавать нейроны, составляющие суперсеть в человеческом мозге.

## 2.1. Нейроны

По ряду оценок, тело человека среднего роста и веса состоит из 37 тысяч миллиардов клеток. Независимо от того, хрупкая ли это старушка или крепкий молодой парень, на их создание пошло весьма внушительное количество биологических кирпичиков.

Однако во всех частях этой сложной конструкции из клеток костей и крови, печени и кожи наличествуют непременно клетки особой группы, распределенной по всему телу, – нейроны. Кирпичики, составляющие нервную ткань, обладают удивительными свойствами. Они могут испытывать электрическое возбуждение и, включаясь в сеть, состоящую из бесконечного количества миллиардов соединений, передают электрические импульсы и химические реакции на сотни километров в течение миллисекунды.

Считается, что в мозге примерно 86 миллиардов нейронов[3 - Некоторые исследователи приводят количество в 100 млрд нейронов, оцениваемое тоже приблизительно. В одной из работ, опубликованной в 2009 году, авторы утверждают, что их все-таки на 14 % меньше (Frederico Azevedo, Suzana Herculano-Houzel и др., «Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain»).], которые сопровождают человека от рождения до смерти, в отличие от других клеток. Большинство нейронов живут долгую жизнь вместе со своим хозяином [см. стр. 230]. Передача информации в виде электрохимических реакций по чрезвычайно запутанной сети клеток мозга позволяет читать и понимать этот текст в данную минуту. Эта же сеть создает в нашей голове память, порождает различные идеи, позволяет выразить эмоции и отвечает за множество разных проявлений человеческой личности.

Центральная часть нейрона, его тело, которое называется сома, имеет бесконечно крошечные размеры (самый маленький в диаметре имеет 4 микрона, то есть 4 миллионных части метра), но при этом клетка может растягиваться на несколько сантиметров, ее отростки превышают размер ядра в десятки тысяч раз. Эти отростки, протягивающиеся на огромные, по сравнению с размерами ядра, расстояния, именуется аксонами. Каждый нейрон имеет только один аксон, и по аксону, как по проводу, информация передается вовне нейрона, к другим нейронам. От другого нейрона к аксону тянется другой отросток, более короткий, дендрит: у каждого нейрона таких дендритов много, они имеют разветвления и, как антенны-приемники, считывают информацию и направляют ее внутрь клетки.

Нейроны могут принимать самые различные формы, каковых насчитывается более двухсот видов, но основная разница между типами нейронов состоит в роли, которую они играют в церебральной сети. Сенсорные нейроны (они называются также афферентными, то есть «передающими в центр») получают сигналы от различных органов, таких как глаза, или поверхностных тканей, например кожи, и передают их в центральную нервную систему.

Двигательные нейроны (еще их называют эфферентными, что означает «те, что проводят сигнал») передают приказы от нервной системы к различным периферийным органам, вплоть до пальцев ног, по позвоночному столбу. Интернейроны, то есть все остальные, осуществляют чудо мышления посредством невероятно сложной системы сети внутренних связей. В мозге Homo sapiens количество синапсов, ответственных за прохождение сигналов, превышает любое воображение. Синапс представляет собой терминаль-трансмисмиттер (передатчик), соединенный с терминалем-реципиентом (приемником) через бесконечно крошечное внеклеточное пространство, именуемое синаптической щелью.

Нейроны общаются между собой посредством молекулярных цепочек, нейротрансмисмиттеров [см. стр. 36], которые приходят в движение по команде клетки. Команда на потенциальные действия приходит в виде изменений электрического напряжения, за тысячные доли секунды высвобождающих молекулы веществ-нейротрансмисмиттеров (например, дофамина, серотонина или норадреналина) и направляющих их к клетке-приемнику. Таким образом, когда нейрон меняет свой электрический потенциал, он посылает сообщение соседнему нейрону. Это сообщение либо приводит последний в возбуждение, в свою очередь, либо, наоборот, успокаивает и создает «режим тишины».

На эту систему передачи информации, уже достаточно сложную, накладываются нейронные колебания, или нейронные осцилляции, более известные как мозговые ритмы.

Эти колебания имеют регулярный характер и разную частоту (измеряемую в герцах, то есть в количестве колебаний в секунду) и возникают в разных областях мозга, в зависимости от его активности, то есть в границах от

глубокого сна до крайнего возбуждения. Эти осцилляции были открыты в 90-х годах прошлого века благодаря появлению такого прибора, как энцефалограф.

Передача информации по нейронной сети дублируется параллельной системой контроля прохождения сигнала. Параллельная система работает как цифровая (сигнал может быть только двух видов – «вкл» или «выкл», то есть «да» или «нет»), не использует аксоны для передачи сигнала на далекое расстояние и действует в основном между соседними нейронами, эти самые да/нет передаются от сомы к соме. В этой системе задействованы только нервные узлы или группы специализированных нейронов. Таким образом, получается, что на пути прохождения нервного сигнала нейроны соединяются через синапсы не только посредством химических реакций, но и через электрические импульсы.

Мозг похож на парк, в котором играют многочисленные оркестры, но вот беда – каждый свою мелодию, и поэтому эти оркестры надо как-то синхронизировать. Параллельная электрическая система и служит как раз синхронизатором для многочисленных оркестров, состоящих из музыкантов-нейронов. Эти синхронизирующие импульсы и образуют мозговые ритмы.

Вначале, после открытия этого феномена, ритмы исследовали как одно из свойств механизма сна [см. стр. 105]. Сегодня ученые уже знают, что мозговые ритмы, или, как их еще называют, церебральные волны, играют ключевую роль в процессе передачи нервных импульсов, при реализации человеком когнитивных функций, формировании поведенческих моделей. Волны не только позволяют синхронизировать или развести во времени концерты, исполняемые разными группами нейронов: они чрезвычайно важны и для других процессов в мозге. Церебральные волны, скорее всего, могли бы многое поведать о загадках сознания [см. стр. 144], но пока ученые еще не собрали достаточного количества фактов об этом явлении.

### 2.1.1. Дендриты

Дендриты (название происходит от греческого слова dendron – «дерево») формируют что-то вроде чудовищно тесного, забитого перекрещивающимися ветками леса. Лес состоит из миллиардов деревьев с сотнями миллиардов веток и тысячами миллиардов листьев. Все ветки и листья перекрещиваются между собой, соединяясь таким образом, чтобы сигнал, бегущий по ним, мог в мгновение ока попасть из одного края леса в другой. Это настоящий зачарованный лес – он поразительно красив и умеет делать разные невероятные колдовские штуки.

Дендриты – это разветвленные отростки нейронов, нервных клеток. Они протягивают свои ветки-щупальца в самых разных направлениях, в зависимости от функции клетки, и на самом деле напоминают деревья, от которых получили свое название – выглядят то как сосна или дуб, а то как могучий баобаб или секвойя.

У нервных отростков, как у деревьев, есть и «листья», названные учеными шипиками[4 - Под электронным микроскопом шипики и на самом деле напоминают листья. Пионеры науки о мозге не могли их увидеть в обычный оптический микроскоп, поэтому и назвали их «шипами», «шипиками».]. Точно так же, как листья на дереве работают приемниками солнечного света для фотосинтеза, дендриты и их шипики впитывают информацию, приходящую от терминалей-передатчиков других нейронов (следует отметить, что, однако, не все типы нейронов обладают отростками-дендритами с шипиками).

Как и в лесу, нейронные ветки и листья дендритов не остаются в покое ни на мгновение. Только в последнее десятилетие была доказана ключевая роль дендритов в феномене «пластичности мозга», то есть способности адаптировать нейронные связи к сигналам, получаемым из внешнего мира [см. стр. 87].

Способность к обучению и память зависят не только от мощности (или слабости) синаптических контактов, но и от способности мозга выращивать новые дендриты и новые шипики и их готовности к адаптации [см. стр. 179, 83].

Пластичность мозга не является абстрактной функцией: мозг меняется физически, в нем отрастают новые ветки и листья дендритов и отсыхают старые, происходят постоянно процессы, не останавливающиеся никогда ни в одном из лесов мира, где бы они ни располагались – в наружном мире или в нашем мозге.

### 2.1.2. Сомы

Сомы по сути являются центром управления нейроном и представляют собой основное тело нервной клетки, из которого вырастают дендриты и аксоны. Тело производит энергию, необходимую для работы нейрона, следит за ростом отдельных своих частей и их соединяет в общее целое. Сомы состоят из внешней мембраны, состоящей из молекул жира и аминокислот, которые защищают нейрон от воздействия внешней среды.

Внутри клетки таятся сложнейшие специализированные механизмы, такие как ядро клетки, служащее и архивом информации, и фабрикой по производству РНК. В ядре сохраняется молекула ДНК, на которой записана вся информация, необходимая для создания важных для выживания организма белков, и там же развернуто производство РНК, из которой они и производятся.

Как и в любой другой клетке тела, в соме нейрона действуют митохондрии, которые превращают кислород и глюкозу в топливо, АТФ (аденозинтрифосфат). В нейронах митохондрии особенно мощные и многочисленные: никакая другая клетка не обладает таким завидным аппетитом, как нейрон [см. стр. 101].

### 2.1.3. Аксон

Дендритов, служащих приемниками информации, у нейрона много, а аксон – один. Всякая нервная клетка обладает только одним-единственным выходом, путем передачи информации соседям.

Дендриты ветвятся в окрестностях сомы, в радиусе нескольких микрон, аксон же может протянуться на десятки сантиметров; в масштабах клетки это невообразимое, космическое расстояние. Дендриты по мере удаления от сомы делаются все тоньше, в точности как ветки настоящих деревьев; но аксон сохраняет свой диаметр неизменным, чтобы только на самом конце распастись на множество крошечных передатчиков для осуществления синаптической связи со множеством иных нейронов. Эти передатчики называются терминалями

аксона.

Между терминалями-приемниками и терминалями-передатчиками нейрона есть еще одна существенная разница: химический сигнал, поступающий через дендриты, может быть сильным или слабым или любым промежуточным между этими пределами – электрический же импульс, проходящий через аксон, может только быть или не быть, «вкл» или «выкл». Проводя аналогию с миром компьютеров, можно сказать, что дендриты являются типичным примером аналогового устройства, в то время как аксоны – цифрового.

Аксоны должны не просто пересылать информацию на огромные по клеточным меркам расстояния, но и делать это максимально быстро. В экстремальных случаях скорость достигает 720 км в час, то есть 200 метров в секунду. Скорость передачи информации зависит не только от диаметра аксона, но и от толщины миелиновой оболочки, защищающей сигнал от внешних помех. Интенсивность использования конкретного аксона мозгом напрямую зависит от количества миелина на нем [см. стр. 179]. Если сравнивать аксон с автострадой, по которой мчат автомобили, то получается как бы обратная картина: чем больше машин проедет по дороге, тем скорее она придет в негодность; аксон же от многократного использования, наоборот, обрастает жирком.

Формирование аксона начинается с небольшого сжатия клеточной сомы – образуется конус роста аксона. В нем находится нечто вроде микроскопического вычислительного центра, совершающего сложение и вычитание: как только результат вычислений переходит некий порог [см. стр. 36], нейрон выстреливает, посылая сигнал к действию. Электрический потенциал клеточной мембраны за тысячные доли секунды резко возрастает: это похоже на стрельбу из пулемета. В секунду подобных событий происходит десятки и даже сотни.

В миелиновой оболочке есть крошечные разрывы, расположенные на равном расстоянии друг от друга (эти разрывы называются перехватами Ранвье). В разрывах находится целая система канальцев, через которые в клетку входят и выходят ионы натрия, отвечающие за электрический потенциал аксона. Ионы буквально проскакивают из одной миелиновой оболочки в другую со скоростью, которая без миелина была бы недостижима.

Миелин играет очень важную роль в работе человеческого интеллекта [см. стр. 179]. Многие мозговые патологии связаны с потерей миелина, например рассеянный склероз. Уменьшение миелинового слоя приводит к сбоям в

передаче сигналов по аксонам и, в свою очередь, к нарушению работы мозга в целом.

Серое вещество, расположенное под корой головного мозга, своим цветом обязано высокой концентрации нейронов. А белое вещество – это миелин. Аксоны, пронизывающие белое мозолистое тело [см. стр. 68], соединяющее полушария мозга, занимают гораздо больший объем, чем все вместе взятые клеточные сомы, дендриты и их шипики.

#### 2.1.4. Синапсы

Помимо дендритов, сомы и аксонов в передаче информации от клетки к клетке задействованы очень важные образования – синапсы. Они осуществляют соединение между терминалями аксона одного нейрона (пресинаптического) и нервными окончаниями (ветками, листочками) дендрита другого нейрона (постсинаптического). Самое потрясающее в этом механизме то, что нейроны не вступают в непосредственный контакт. В самой сердцевине синапса расположено бесконечно малое пространство (размер его колеблется между 20 и 40 миллиардными метра), именуемое синаптической щелью. И именно в этом крошечном участке мозга, собственно, и вершится таинство волшебного нейронного леса: клетки, отвечающие за мышление, разговаривают между собой на химическом языке.

На концах у аксонов в крошечных пузырьках – везикулах – находятся нейротрансмиттеры. По команде, переданной электрическим импульсом, везикулы выпускают нейротрансмиттеры в синаптическую щель, и они попадают на рецепторы другого нейрона, заставляя его создать собственный сигнал. Таким образом передается и возбуждение, и торможение. И это только одно из звеньев бесконечной цепи сигналов, миллионы которых зажигаются в мозгу каждую секунду. Благодаря им человек может идти, активно двигая ногами, и одновременно вспоминать приятные сцены из прошлого или планировать сложные задачи на будущее.

Примерно оценить среднее количество нейронов в мозге человека можно, причем даже несколькими способами [см. стр. 26], а вот сосчитать синапсы пока нереально. Не потому, что они значительно меньше по размерам, чем клетка, и

не потому, что они сплетаются в бесконечно запутанную сеть, а в основном из-за уменьшения их количества на протяжении человеческой жизни.

Нейрон может быть соединен одновременно с десятками тысяч других нейронов независимо от их расположения в мозге. Самые распространенные клетки одной из самых удивительных частей мозга, его коры, так называемые пирамидальные нейроны, могут принимать информацию одновременно от 5 до 50 тысяч других клеток, то есть совершать великое множество постсинаптических контактов. Другой вид нейрона, клетка Пуркинье, может иметь одновременно до 100 тысяч соединений. По некоторым оценкам, в мозге молодого взрослого одновременно действует до 150 миллиардов синапсов.

Однако преимущество процессов в мозге не в этом: оно во взрывном характере распространения информации, описываемой в терминах математической прогрессии.

Можно провести мысленный эксперимент: взять стандартный нейрон, предположив, что он «говорит языком синапсов» всего с какой-нибудь тыщонкой других нейронов. Каждый из «собеседников» потенциально «общается» еще с тысячей товарищей, а те, в свою очередь, подключают к процессу каждый по тысяче своих «агентов». Таким образом, в течение каких-нибудь миллисекунд информация достигает миллионов клеток ( $1000 \times 1000$ ), а потом и миллиардов ( $1000 \times 1000 \times 1000$ ). Однако этот расчет на самом деле слишком упрощает природный процесс, хотя и дает представление о том, насколько удивительна деятельность мозга – клетки различаются между собой, у них разная структура ядра и нейронных ветвей, и процесс в реальности намного сложнее.

Легендарный венгерский анатом Янош Сентаготаи подсчитал, что каждый нейрон имеет только «шесть степеней отчуждения» (относительная функциональная обособленность нейрокомпьютеров: каждый компонент системы имеет четкий набор функций), в точности как в одноименном фильме о тесных связях внутри человечества. Шесть степеней отчуждения – предел, на самом деле обособленность нейронов еще меньше, и информация

распространяется из одного отдела мозга в другой с бешеной скоростью. Клетка может возбуждаться как каждые несколько секунд, так и по двести раз в секунду.

Синапсы участвуют и в формировании такого явления, как пластичность мозга. Сегодня мы уже знаем, что, считавшиеся когда-то фиксированными и стабильными, синаптические соединения могут быть более или менее сильными, и это определяет их способности влиять на нейроны – приемники сигнала. Все зависит от того, как часто задействован тот или иной синапс: чем большее количество раз он вступает в реакцию, тем более мощной и стабильной будет связь между двумя клетками мозга [см. стр. 16]. Это явление, названное биологами потенциалом длительного действия, или LTP (long-term potentiation), играет весьма значимую роль в процессе обучения [см. стр. 179] и в функционировании памяти [см. стр. 83], но также и в формировании привычек и зависимостей [см. стр. 212].

## 2.2. Нейротрансмиттеры

Мозг говорит языком нейротрансмиттеров. Всякий раз, как человек читает книгу или любуется прекрасным видом, в его мозгу разыгрывается химическая буря. Миллионы микроскопических молекул покидают везикулы нейрона, пересекают синаптическую щель и прилипают к рецепторам другого нейрона: и каждая молекула несет некое химическое послание. Мозг использует нейротрансмиттеры для передачи приказов сердцу – биться, легким – дышать, желудку – переваривать. Особые молекулы передают приказы спать или, наоборот, обратить на что-то внимание, узнать новое или забыть старое, прийти в возбуждение или успокоиться.

И да, все самые тонкие нюансы человеческого поведения, как самого рационального, так и абсолютно бессознательного, управляются целой армией нейротрансмиттеров и являются результатом их запутанного взаимодействия. Таких взаимодействий может происходить одновременно более сотни, и не исключено, что их гораздо больше – просто они еще не все учтены.

Синаптические послания могут быть как возбуждающими, так и тормозящими, в зависимости от того, какие нейротрансмиттеры были отправлены нейроном-

передатчиком, и от того, на какие рецепторы они попадают в нейроне-приемнике. Он, в свою очередь, может быть связан со многими тысячами других нейронов через столь же многочисленные синапсы; они тоже получают импульсы одновременно от сотен или тысяч передатчиков. «Раздражающие» и «успокаивающие» послания поступают в клетку вместе, клетка же, благодаря хитроумной системе мембранных насосов, регулирует приток и отток ионов калия и натрия и поддерживает постоянный электрический потенциал на поверхности мембраны, равный -70 милливольт. Возбуждающие нейротрансмиттеры приносят на мембрану позитивный заряд, успокаивающие, наоборот, отрицательный. Если в результате взаимодействия потенциалов электрическое напряжение переходит определенное значение (как правило, около -30 милливольт), нервная клетка приходит в состояние возбуждения и посылает электрический импульс по аксону. Импульс провоцирует выброс нейротрансмиттеров, везикула стреляет молекулами, как крошечный пулемет.

Если же возбуждающие сигналы с положительным зарядом слишком слабы, клетка сохраняет состояние покоя. Однако физика нервных импульсов выходит далеко за пределы простого сложения напряжений, поскольку молекулы, несущие информацию, проявляют свои главные свойства, вступая в различные комбинации или вытесняя друг друга. Спектр возможностей благодаря такому механизму становится настолько широким, что включает и рассуждения, и воспоминания, и эмоции. Шведский исследователь Хуго Лёвхейм предложил классификацию последствий, вызываемых совместным воздействием серотонина, дофамина и норадреналина. Согласно его модели, уровень содержания именно этих трех молекул определяет эмоции и их интенсивность. К примеру, ярость вызывается высокими уровнями содержания дофамина и норадреналина в крови в сочетании с низким уровнем серотонина.

Высокий уровень

Низкий уровень

Конечно, реальность значительно сложнее, чем любые модели: количество взаимодействующих молекул, несущих различную информацию, существенно больше. Есть одна особенность, которой никак нельзя пренебречь: никогда не известно, достаточно ли в пулеметах синапсов патронов, то есть нужных химических молекул в синаптических пузырьках-везикулах.

Запасы нейротрансмиттеров в организме не бесконечны. После взаимодействия с постсинаптическими рецепторами они сразу же дезактивируются и затем перерабатываются: либо возвращаются в везикулы, где как бы подзаряжаются (так называемый обратный захват, *reuptake* по-английски), либо выводятся, порой даже уничтожаются.

Мозг может пострадать в случае нарушения цикла восстановления нейротрансмиттеров – молекул, передающих сигналы. Причиной могут стать плохое, нездоровое питание [см. стр. 101], сильный стресс [см. стр. 216], некоторые лекарства, наркотики, алкоголь и даже генетическая предрасположенность [см. стр. 221]. Негативные факторы влияют на запасы нейротрансмиттеров в организме и нарушают оптимальный режим работы мозга.

Ряд нейротрансмиттеров, таких как дофамин, серотонин, ацетилхолин и норадреналин, играют также роль нейромодуляторов

Конец ознакомительного фрагмента.

notes

Примечания

Цитату Джордж Эдгин Пью в своей книге «The biological origin of human values» («Биологическое происхождение человеческих ценностей») приписал своему отцу Эммерсону Л. Пью. Некоторые считают ее фразой из книги Ларри Чанга «Wisdom for the soul» («Мудрость для души»). Числится среди потенциальных авторов и математик Иэн Стюарт.

2

В названии версии 4.3.7 (G-3125):

4 = беспозвоночные/позвоночные/млекопитающие/приматы;

3 = гоминиды/австралопитеки/род Homo;

7 = Homo habilis/Homo ergaster/Homo erectus/Homo antecessor/Homo heidelbergensis/Homo sapiens/ Homo sapiens sapiens;

G-3125 = количество поколений (приблизительно), предшествовавших появлению современного человека (Homo sapiens sapiens) и его мозга.

3

Некоторые исследователи приводят количество в 100 млрд нейронов, оцениваемое тоже приблизительно. В одной из работ, опубликованной в 2009 году, авторы утверждают, что их все-таки на 14 % меньше (Frederico Azevedo, Suzana Herculano-Houzel и др., «Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain»).

4

Под электронным микроскопом шипики и на самом деле напоминают листья. Пионеры науки о мозге не могли их увидеть в обычный оптический микроскоп, поэтому и назвали их «шипами», «шипиками».

----

Купить: [https://tellnovel.me/ru/magrini\\_marko/mozg-instrukciya-pol-zovatelya](https://tellnovel.me/ru/magrini_marko/mozg-instrukciya-pol-zovatelya)

Текст предоставлен ООО «ИТ»

Прочитайте эту книгу целиком, купив полную легальную версию: [Купить](#)