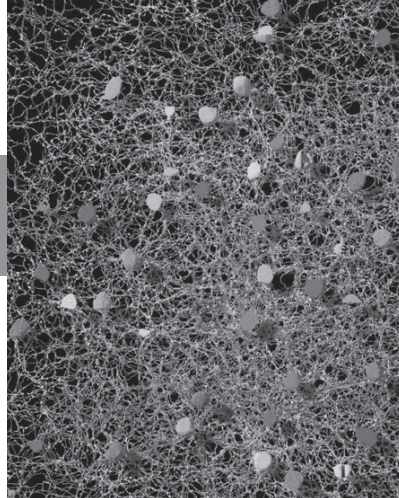


ТОМ 1



ОСНОВЫ

ГЛАВА 1

Нейронауки: прошлое, настоящее и будущее

ГЛАВА 2

Нейроны и глия

ГЛАВА 3

Нейронный потенциал покоя

ГЛАВА 4

Потенциал действия

ГЛАВА 5

Синаптическая передача

ГЛАВА 6

Нейромедиаторные системы

ГЛАВА 7

Строение нервной системы

Приложение: иллюстрированное руководство по нейроанатомии человека

ГЛАВА 1

Нейронауки: прошлое, настоящее и будущее

В этой главе...

ВВЕДЕНИЕ

ИСТОКИ НЕЙРОНАУКИ

Взгляды на мозг в Древней Греции

Взгляды на мозг во времена Римской империи

Взгляды на мозг от эпохи Возрождения до XIX века

Взгляды на мозг в XIX веке

Нервы в качестве проводов

Локализация определенных функций в конкретных зонах мозга

Эволюция нервной системы

Нейрон: основная функциональная единица мозга

СОВРЕМЕННАЯ НЕЙРОНАУКА

Уровни анализа

Молекулярная нейронаука

Клеточная нейронаука

Системная нейронаука

Поведенческая нейронаука

Когнитивная нейронаука

Нейроученые

Научный процесс

Наблюдение

Воспроизведение

Интерпретация

Верификация

Использование животных для изучения нейронаук

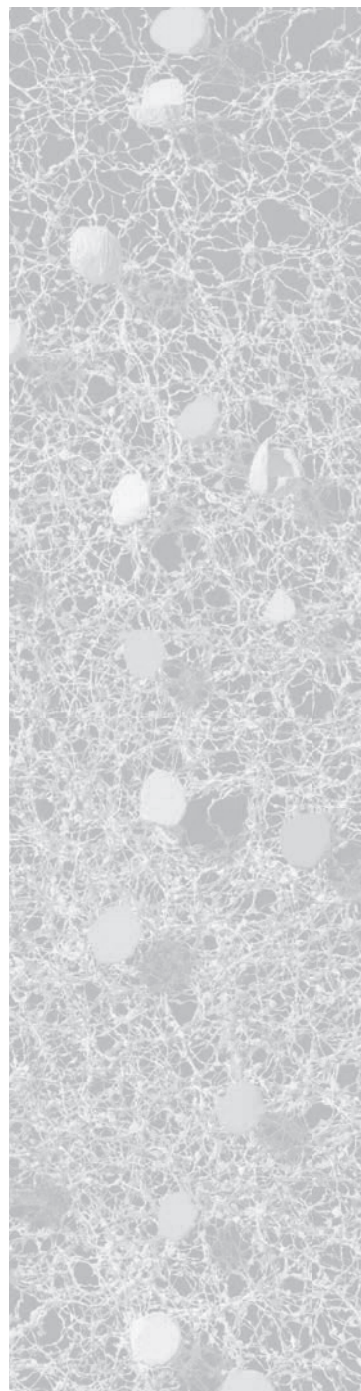
Животные

Защита животных

Права животных

Цена невежества: заболевания нервной системы

РЕЗЮМЕ



ВСТУПЛЕНИЕ

Люди обязаны знать, что лишь из мозга они получают радость и восторг, смех и торжество, грусть и печаль, подавленность и стелания. И с его же помощью мы особым образом приобретаем мудрость и знания, видим и слышим, знаем, что есть ложь и что есть правда, что хорошо и что плохо, что красиво и что нет... Но этот же орган вызывает у нас безумие и бред, страх и ужас... Все это мы получаем от мозга, если он не здоров... Именно поэтому я считаю, что работа мозга является наибольшей силой человека.

Гиппократ “О священной болезни” (IV век до н.э.)

Человеческой природе свойственно проявлять любопытство о том, что мы видим и слышим; почему одни вещи делают нам приятно, а другие больно; как мы передвигаемся; как думаем, учимся, запоминаем и забываем; какова природа гнева и безумия. Нейронаучные исследования проливают свет на эти тайны, и как раз об этих исследованиях пойдет речь в данной книге.

Слово “нейронауки” сравнительно молодое. Нейронаучное сообщество, объединение профессиональных нейроученых, было основано относительно недавно, в 1970 г. Изучение мозга, однако, так же старо, как и собственно наука. Исторически так сложилось, что ученые, посвятившие себя исследованию нервной системы, пришли к ней из других научных дисциплин: медицины, биологии, психологии, физики, химии, математики. Революция в нейронауках произошла, когда ученые осознали, что наиболее полного понимания работы мозга можно достичь лишь при междисциплинарном подходе, при комбинации традиционных подходов с целью нового синтеза, новых точек зрения. Сегодня большинство людей, принимающих участие в научных исследованиях нервной системы, называют себя нейроучеными. И действительно, какой бы курс вы сейчас ни проходили в своем учебном заведении (будь то биопсихология или нейробиология), практически наверняка ваш преподаватель окажется нейроученым.

Нейронаучное сообщество является одним из самых крупных и быстрорастущих объединений профессиональных нейроученых. Не специализируясь на чем-то одном, исследовательское поле этой организации охватывает практически все естественные науки, ставя нервную систему в качестве общей точки фокуса. Понимание того, как устроен мозг, требует больших знаний — от строения молекулы воды до электрических и химических свойств мозга и того, почему у собаки Павлова выделялась слюна при

звук колокольчика. Мозг в этой книге будет рассматриваться с широкой точки зрения.

Мы начнем свое путешествие с короткого тура по нейронаукам. Что ученые думали о мозге в разные эпохи? Кем являются современные нейрочеловеки. Каковы их подходы к изучению мозга?

ИСТОКИ НЕЙРОНАУК

Вы наверняка уже знаете, что нервная система — головной мозг, спинной мозг и нервы тела — крайне важны для жизни в целом и позволяют вам чувствовать, двигаться и мыслить. Но откуда же взялось это знание?

Существуют доказательства того, что даже наши доисторические предки понимали жизненно важную роль мозга. В археологических документах есть множество упоминаний о черепах гоминидов, которым более миллиона лет, на которых были найдены следы смертельных повреждений черепа, вероятнее всего, нанесенные другими человекообразными приматами. Уже 7000 лет назад люди просверливали отверстия в черепах других людей (процедура, называемая *трепанацией*), очевидно, не с целью убийства, а для лечения (рис. 1.1). На этих черепах были найдены следы заживления, что свидетельствует о том, что процедура проводилась на живых людях, а не в качестве посмертного ритуала. Некоторые люди, очевидно, пережили несколько операций на черепе. Цель этих древних хирургов пока не совсем ясна, однако предполагалось, что такая процедура могла проводиться с целью лечения головной боли или психических расстройств, а также что она давала путь выхода для злых духов.



Рис. 1.1. Свидетельство доисторических операций на мозге. Этот череп мужчины, которому 7000 лет, был прижизненно вскрыт хирургическим способом. Стрелки указывают на места трепанаций. (Источник: Alt et al., 1997, Fig. 1a)

Восстановленные записи врачей Древнего Египта, которым практически 5000 лет, указывают на то, что они были хорошо знакомы с многими симптомами повреждений мозга. Однако также ясно, что сердце, а не мозг,

считалось обителью души и хранилищем воспоминаний. На самом деле в то время как остальные органы тщательно консервировались для загробной жизни, мозг просто удалялся через ноздри и выбрасывался. Мнение о том, что сердце является обителью сознания и разума, серьезно не оспаривалось вплоть до времен Гиппократ.

Взгляды на мозг в Древней Греции

Подумайте над тем, что различные части вашего тела выглядят по-разному, потому что служат для разных целей. Например, наши стопы и кисти сильно различаются: с помощью стоп мы передвигаемся, а при помощи кистей манипулируем объектами. Таким образом, существует весьма четкая связь между структурой и функцией. Различия во внешнем виде подразумевают различия в функциях.

Что мы можем узнать о функции головы из ее структуры? Беглый осмотр и несколько быстрых экспериментов (например, закрывание глаз) дают нам понять, что структуры головы специализируются на ощущении окружающей среды с помощью глаз и ушей, носа и языка. Даже грубое вскрытие может проследить пути нервов от этих органов сквозь череп прямо к мозгу. Какое заключение о мозге можно сделать на основании этих наблюдений?

Если вы ответили, что мозг является органом чувств, то вы пришли к тому же выводу, что и несколько греческих ученых в IV веке до н.э. Самым влиятельным из них был Гиппократ (460–379 гг. до н.э.), отец западной медицины, который считал, что мозг не только участвует в чувственном восприятии, но также является вместилищем разума.

Однако такое мнение не было широко распространено. Известный греческий философ Аристотель (384–322 гг. до н.э.) был уверен, что сердце является центром разума. Какую же функцию Аристотель присвоил мозгу? Он считал его радиатором для охлаждения крови, перегреваемой кипящим сердцем. Следуя этому, рациональный человеческий темперамент объяснялся большой охлаждающей емкостью нашего мозга.

Взгляды на мозг во времена Римской империи

Самой значимой фигурой Римской медицины был греческий врач и писатель Гален (130–200 гг. н.э.), перенявший взгляды Гиппократ на функции мозга. Будучи врачом гладиаторов, он был свидетелем печальных последствий повреждений головного и спинного мозга. Однако, скорее всего, мнение Галена о мозге сформировалось в результате многократных и тщательных вскрытий животных. На рис. 1.2 изображен мозг овцы, одного из любимых объектов исследований Галена. Хорошо видны две части: *большой мозг* спереди и *мозжечок* сзади. (Структура мозга описана в главе 7.)

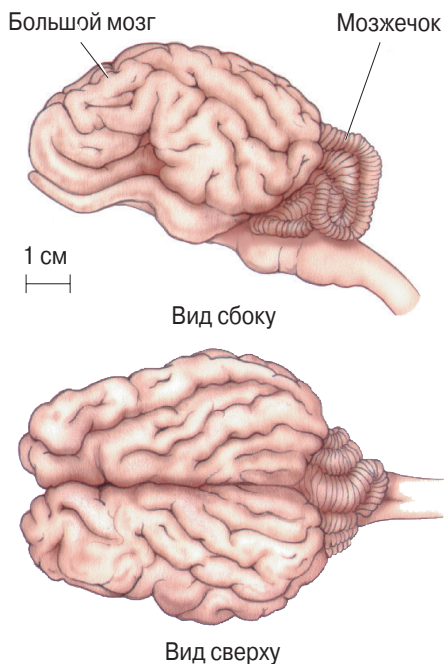


Рис. 1.2. Мозг овцы. Обратите внимание на расположение и внешний вид большого мозга и мозжечка

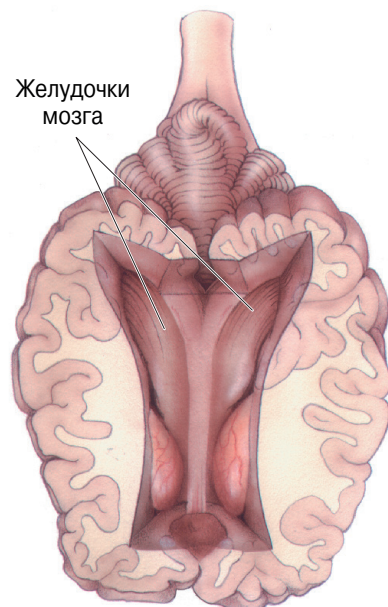


Рис. 1.3. Вскрытый мозг овцы, показаны желудочки

Точно так же, как мы поняли функции кистей и стоп, глядя на их структуру, Гален пытался понять функции мозга и мозжечка, изучая их структуру. Касаясь вскрытого мозга пальцем, он узнал, что мозжечок по своей структуре жестче, а большой мозг — мягче. Из этого наблюдения Гален пришел к выводу, что мозг должен получать информацию о чувствительности, а мозжечок — командовать мышцами. Откуда такое разграничение? Он определил, что для возникновения воспоминаний в мозге должна запечатлеться чувственная информация. Естественно, это должно происходить в рыхлом большом мозге.

Какими бы нелепыми не казались его заключения, размышления Галена были не так уж далеки от правды. На самом деле большой мозг главным образом задействован в чувствительности и восприятии, в то время как мозжечок является главным образом центром управления движениями. Более того, мозг является хранилищем памяти. Мы еще убедимся, что это не единственный исторический пример в нейронауках, когда верное заключение было получено путем неверных рассуждений.

Каким образом мозг воспринимает чувственные ощущения и двигает конечностями? Гален вскрыл мозг и узнал, что он полый (рис. 1.3). В этих полостях, называемых *желудочками* (подобно камерам сердца), была

жидкость. Для Галена это открытие идеально подтверждало его теорию о том, что тело управляется в зависимости от баланса четырех жидкостей, или гуморов. Чувства и движения возникали вследствие перемещения жидкостей к желудочкам мозга или от них по нервам, которые, подобно кровеносным сосудам, считались полыми трубками.

Взгляды на мозг от эпохи Возрождения до XIX века

Взгляды Галена на мозг были преобладающими на протяжении почти 1500 лет. Во времена эпохи Возрождения великий анатом Андреас Везалий (1514–1564) еще больше детализировал строение мозга (рис. 1.4). Однако желудочковая теория работы мозга в целом не ставилась под сомнение. Эта концепция даже укрепилась в начале XVII века, когда французские экспериментаторы создали гидравлически управляемые устройства. Эти устройства подкрепляли мнение о том, что функция мозга могла быть механической: жидкость, изгоняемая из желудочков по нервам, могла буквально поднять вас, вызвав движения конечностей. В конце концов, разве мышцы не надуваются при сокращении?

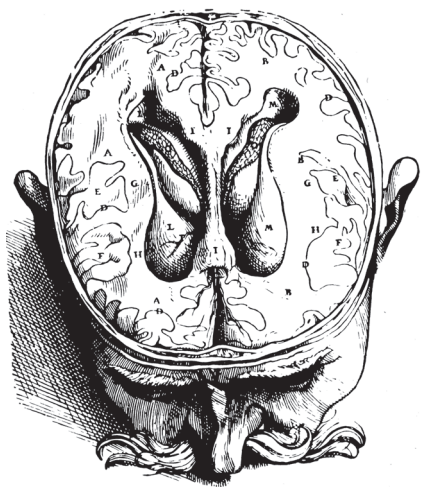


Рис. 1.4. Изображение желудочков человеческого мозга во времена эпохи Возрождения. Это рисунок из работы Везалия (1543) “О строении человеческого тела”. Вероятно, объектом исследования был обезглавленный преступник. При изображении желудочков большое внимание уделялось анатомической точности. (Источник: Finger, 1994, Fig. 2.8)

Главным сторонником жидкостно-механической теории работы мозга был французский математик и философ Рене Декарт (1596–1650). Хотя он и считал, что его теория идеально объясняет мозг и поведение других животных, Декарт полагал, что она не совсем подходит для объяснения всего спектра *человеческого* поведения. Он полагал, что, в отличие от прочих животных, человек обладает интеллектом и душой, данной ему богом. Поэтому Декарт предположил, что механический мозг контролирует только поведение человека, похожее на поведение других зверей. Уникальные же когнитивные способности находятся у человека не в мозге, а в “сознании”.

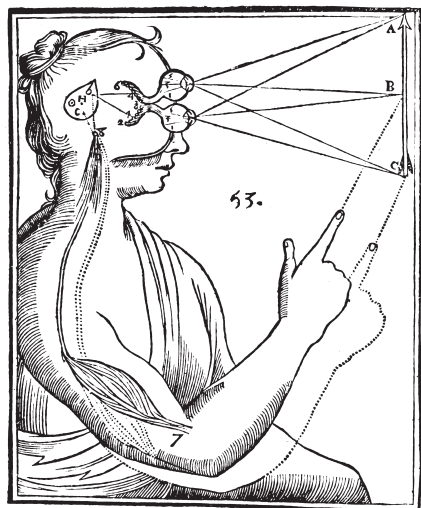


Рис. 1.5. Мозг в представлении Декарта. Этот рисунок появился в 1662 г. в публикации Декарта, который считал, что полые нервы из глаз впадают в желудочки мозга. Разум влияет на двигательную реакцию, контролируя гипофиз, который работает подобно клапану, регулируя перемещение жизненных духов по нервам, накачивающим мышцы. (Источник: Finger, 1994, Fig. 2.16)

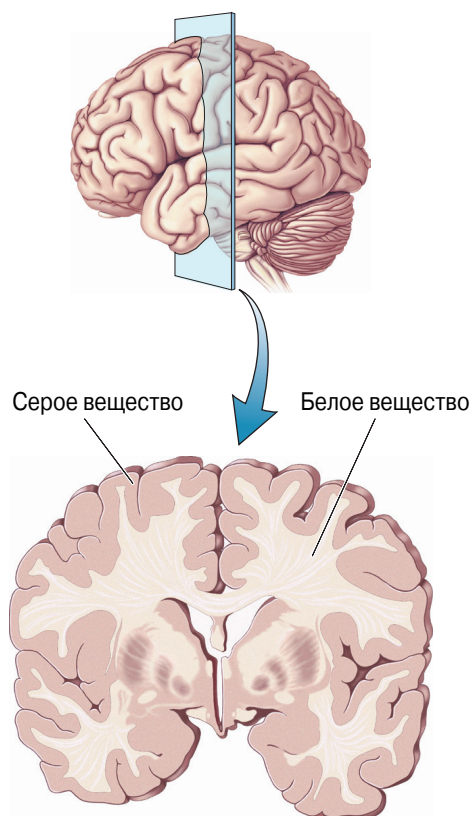


Рис. 1.6. Белое вещество и серое вещество. Для изображения этих двух типов тканей человеческий мозг был разрезан

Декарт считал, что разум является некой духовной сущностью, которая воспринимает ощущения и управляет движениями, связываясь с механизмами мозга посредством шишковидной железы (гипофиза) (рис. 1.5). Даже сегодня некоторые люди верят в “проблему сознания и мозга”, будто как-то образом сознание человека существует отдельно от его мозга. Однако в дальнейшем мы убедимся, что современные нейронаучные исследования свидетельствуют в пользу противоположного мнения: сознание имеет физическое основание, которым является мозг.

К счастью, другие ученые XVII и XVIII веков отошли от традиционных взглядов на желудочки и стали более пристально изучать вещество мозга. Например, они отметили два типа мозговой ткани: *серое вещество* и *белое вещество* (рис. 1.6). Какую связь структуры с функцией они предложили? Из-за его неразрывности с нервами тела белому веществу справедливо приписали содержание волокон, несущих информацию к серому веществу и от него.

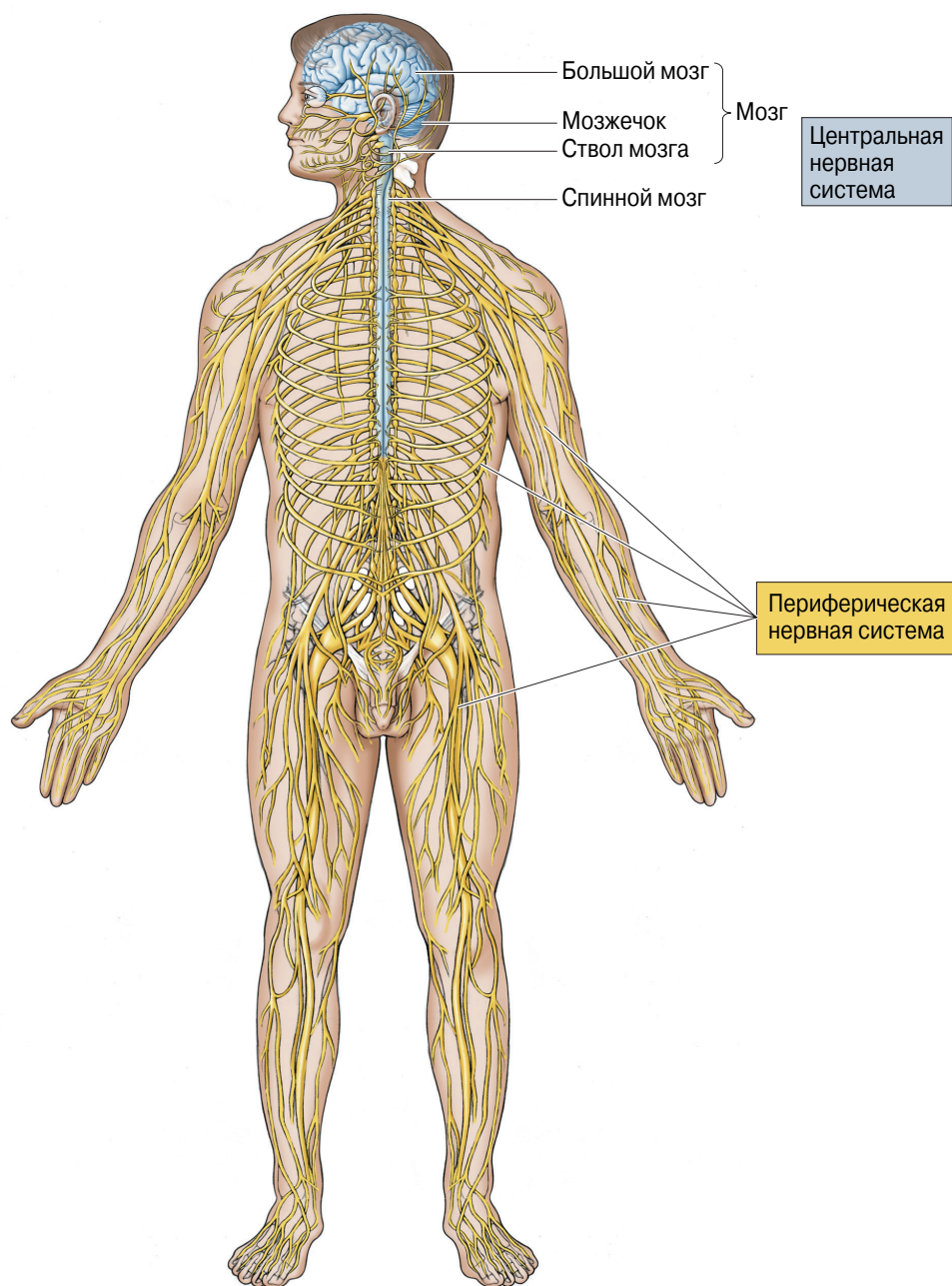


Рис. 1.7. Основные анатомические отделы нервной системы. Нервная система состоит из двух отделов, центральной (ЦНС) и периферической (ПНС). ЦНС состоит из головного и спинного мозга. Головной мозг делится на три большие части: большой мозг, мозжечок и ствол мозга. ПНС содержит нервы и нервные клетки, расположенные за пределами головного и спинного мозга

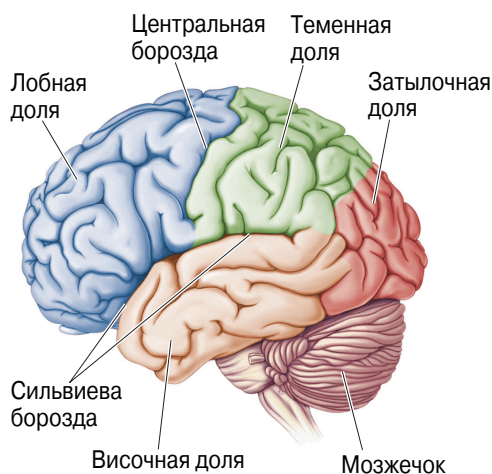


Рис. 1.8. Доли головного мозга. Обратите внимание на глубокую сильвиеву борозду, отделяющую лобную долю от височной, и центральную борозду, разделяющую лобную и теменную доли. Затылочная доля расположена в задней части мозга. Эти структуры можно найти в мозге каждого человека

К концу XVIII века нервная система была полностью изучена на вскрытиях, а ее макроанатомия была детально описана. Ученые различали центральный отдел нервной системы, состоящий из головного и спинного мозга, и периферический отдел, состоящий из сети нервов, проходящих через все тело (рис. 1.7). Важным прорывом в нейроанатомии стало открытие того факта, что картина *извилил* и *борозд* на поверхности головного мозга у разных людей совпадала (рис. 1.8). Эта картина, позволившая разделить большой мозг на *доли*, привела к предположению, что разные извилины мозга ответственны за разные функции. На этом этапе изучение нервной системы перешло к стадии локализации функций мозга.

Взгляды на мозг в XIX веке

Давайте вспомним, какой представлялась нервная система к концу XVIII века.

- Повреждение головного мозга может нарушить восприятие, движение, мышление и вызвать смерть.
- Мозг соединен со всем телом посредством нервов.
- Мозг имеет различные части, которые наверняка выполняют разные функции.
- Мозг работает подобно механизму и следует законам природы.

На протяжении следующих 100 лет о функциях мозга станет известно больше, чем за всю историю человечества. Эта работа обеспечит прочный

фундамент, на котором стоят современные нейронауки. Теперь давайте рассмотрим четыре ключевые гипотезы, выработанные на протяжении XIX века.

Нервы в качестве проводов

В 1751 году Бенджамин Франклин опубликовал свою книгу под названием *Опыты и наблюдения за электричеством*, которая знаменовала новое понимание электрических феноменов. К концу века итальянский ученый Луиджи Гальвани и немецкий биолог Эмиль Дюбуа-Реймон показали, что электрическая стимуляция нервов вызывает сокращение мышц и что мозг сам по себе способен генерировать электричество. Эти открытия окончательно опровергли мнение о том, что нервы соединяются с мозгом для перемещения жидкостей. Согласно новой концепции нервы служат проводниками для проведения электрических сигналов к мозгу и от него.

Нерешенным оставался вопрос: сигналы, вызывающие движения, и сигналы, передающие мозгу сигналы от кожи, идут по одним и тем же “проводам”? Двухнаправленную связь по одним и тем же проводам предположили, заметив, что при повреждении нерва в теле обычно теряется чувствительность и движения в пораженном участке. Однако также было известно, что каждый нерв тела состоит из множества тончайших ниточек, *нервных волокон*, каждое из которых могло независимо от других передавать информацию в противоположных направлениях.

Ответ был получен в 1810 г. шотландским ученым Чарлзом Беллом и французским физиологом Франсуа Мажанди. Любопытный анатомический факт: непосредственно перед соединением со спинным мозгом волокна каждого нерва разделяются на два ответвления, или корешка. Задний (дорсальный) корешок проникает в спинной мозг сзади, а передний (вентральный) корешок — спереди (рис. 1.9). Перерезая поочередно передние и задние корешки и наблюдая за последствиями на подопытных животных, Белл проверил возможность того, что разные корешки спинномозговых нервов могут проводить сигналы в разных направлениях. Он установил, что пересечение лишь передних корешков вызывает мышечный паралич. Позже Мажанди нашел способ показать, что задние корешки несут сенсорную информацию к спинному мозгу. Совместно Белл и Мажанди пришли к заключению, что каждый нерв являет собой совокупность множества “проводов”, из которых одни несут сенсорную информацию к головному и спинному мозгу, а другие передают информацию в мышцы. В каждом отдельно взятом чувствительном или двигательном нервном волокне передача импульса возможна строго в одном направлении. Два вида волокон сплетены на протяжении большей части их длины, но они анатомически разделяются непосредственно перед входом или выходом из спинного мозга.

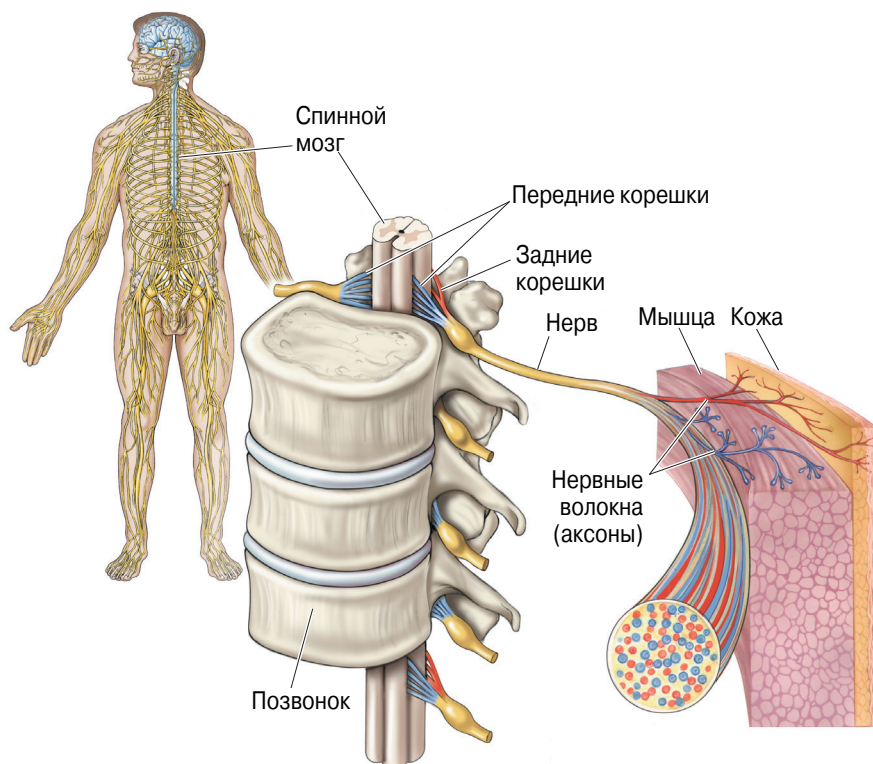


Рис. 1.9. Спинномозговые нервы и их корешки. Тридцать одна пара спинномозговых нервов выходит из мозга и пронизывает кожу и мышцы. Перерезание спинномозгового нерва ведет к потере чувствительности и движений в пораженной области тела. Входящие чувствительные волокна (красные) и выходящие двигательные волокна (синие) разделяются на два корешка непосредственно перед соединением со спинным мозгом. Белл и Мажанди определили, что передние корешки содержат исключительно двигательные волокна, а задние корешки содержат только чувствительные волокна

Локализация определенных функций в конкретных зонах мозга

Если разные функции локализованы в разных спинномозговых корешках, то наверняка и в мозге разные функции локализованы в разных его зонах. В 1811 г. Белл предположил, что началом двигательных волокон служит мозжечок, а все чувствительные волокна следуют к большому мозгу.

Как бы вы проверили это предположение? С одной стороны, можно воспользоваться подходом, который применяли Белл и Мажанди, изучая функции спинномозговых корешков: разрушить указанные структуры мозга и проверить чувствительный и двигательный дефицит. Такой подход, при котором определенные части мозга систематически разрушались с целью определения их функций, называется *экспериментальным*

но это утверждение в конце концов оказалось ошибочным.

Человеком, которому обычно приписывают склонение весов научной мысли в сторону локализации мозговых функций, был французский невролог Поль Брока (рис. 1.11). Брока представил пациента, который понимал речь, но не мог говорить. После смерти этого человека в 1861 г. Брока тщательно изучил его мозг и нашел повреждение в левой лобной доле (рис. 1.12). На основании этого и нескольких других подобных случаев Брока пришел к заключению, что эта область человеческого мозга специфически ответственна за производство речи.

Вскоре после этого последовало экспериментальное обоснованное доказательство локализации мозговых функций у животных. Немецкие физиологи Густав Фрич и Эдуард Гитциг в 1870 г. показали, что воздействие слабого электрического тока на определенные зоны оголенного мозга собаки способно вызывать отдельные ее движения. Шотландский физиолог Дэвид Ферье повторил эти эксперименты на обезьянах. В 1881 г. он показал, что удаление тех же зон мозга вызывает у подопытных животных паралич мышц. Подобным образом немецкий физиолог Герман Мунк с помощью метода экспериментальной абляции нашел доказательства того, что затылочная доля специализируется на зрении.

Нам сейчас известно четкое разделение задач в головном мозге, в котором разные части выполняют весьма различные функции. Современные карты функционального разделения мозга соперничают даже с самыми подробными



Рис. 1.11. Поль Брока (1824–1880). Тщательно изучив мозг мужчины с потерей функции речи после повреждения мозга (рис. 1.12), Брока убедился, что разные функции могут быть локализованы в разных зонах мозга. (Источник: Clarke and O'Malley, 1968, Fig. 121)



Рис. 1.12. Мозг, который убедил Брока в локализации функций головного мозга. Это законсервированный мозг пациента, который потерял способность говорить перед своей смертью в 1861 г. Кругом обведено повреждение, вызвавшее такой недуг. (Источник: Corsi, 1991, Fig. III, 4)

из когда-либо разработанных френологических карт. Главным отличием современных ученых от френологов является то, что для связывания определенной зоны мозга с конкретной функцией им требуется неоспоримое экспериментальное доказательство. Тем не менее похоже на то, что общая идея Галля оказалась частично верной. Вызывает удивление такой факт: Флуранс, пионер локализации мозговых функций, полагал, что мозг действует как единое целое и не может быть разделен на зоны. Этот одаренный экспериментатор мог пропустить локализацию мозговых функций по многим причинам, но, вероятно, одной из этих причин было его глубокое презрение к Галлю и френологии. Он не мог позволить себе даже отчасти согласиться с Галлем, которого считал сумасшедшим. Это напоминает нам о том, что, к счастью или к несчастью, в науке проявляются и силы, и слабости человеческой природы.

Эволюция нервной системы

В 1859 г. английский биолог Чарлз Дарвин (рис. 1.13) опубликовал свое *Происхождение видов*. Эта ключевая работа формулирует теорию эволюции: различные виды эволюционировали от общего предшественника. Согласно этой теории различия между видами возникают благодаря процессу, который Дарвин назвал *естественным отбором*. Вследствие этого репродуктивные механизмы и физические характеристики потомства иногда отличаются от таковых у их родителей. Если какая-либо черта несет преимущество для выживания, то эти потомки с большей вероятностью выживут и размножатся, тем самым увеличив шансы на то, что полезные черты передадутся следующим поколениям. На протяжении многих поколений этот процесс приводил к развитию отличительных черт современных видов: плавников тюленей, лап собак, окраса енотов и так далее. Эта идея вызвала революцию в биологии. Сегодня научные доказательства во многих областях, от антропологии до молекулярной генетики, всецело свидетельствуют в пользу теории эволюции путем естественного отбора.

Дарвин отнес поведение к врожденным свойствам, которые могут эволюционировать. Например, он заметил, что многие виды млекопитающих показывают одинаковую реакцию при испуге: зрачки глаз расширяются, сердцебиение ускоряется, волосы на коже поднимаются. Это свойственно как человеку, так и собаке. Для Дарвина такое сходство в поведенческих реакциях указывало на то, что у этих разных видов был общий предок, владеющий той же поведенческой чертой, которая была преимущественной, вероятнее всего, потому, что позволяла быстрее убежать от хищников. Из того что поведение отражает активность нервной системы, мы можем сделать вывод, что мозговые механизмы, лежащие в основе такой реакции

на страх, похожи, если не идентичны, у этих видов.

Гипотеза о том, что нервная система разных видов произошла от общего предшественника и может иметь общие механизмы, стала основанием для применения к людям результатов экспериментов над животными. Например, многие детали проведения электрических импульсов по нервным волокнам были впервые открыты на кальмарах, а сейчас равноценно применимы и к людям. Большинство современных нейроученых используют *животные модели* (их также часто называют модельными организмами) для изучения процессов, интересующих их в людях. Например, у крыс быстро развивается зависимость, если часто давать им возможность принимать кокаин. Следовательно, крысы являются ценной животной моделью для изучения влияния психоактивных веществ на нервную систему.

С другой стороны, многие поведенческие черты высоко специализированы для окружения (или ниши), которое в норме занимает вид. Например, обезьяны, прыгающие с ветки на ветку, имеют очень острое зрение, тогда как крысы, живущие в норах и проводящие основную часть времени под землей, имеют слабое зрение, зато очень развитое чувство осязания благодаря усикам на морде. Приспособления отражают структуру и функции мозга каждого вида. Сравнивая специализацию мозга разных видов, нейроученые способны определить, какие части мозга специализируются на определенных поведенческих функциях. Пример с обезьянами и крысами показан на рис. 1.14.

Нейрон: основная функциональная единица мозга

Технические преимущества микроскопии в начале 1800-х гг. дали ученым возможность впервые посмотреть на ткани животных при большом увеличении. В 1839 г. немецкий зоолог Теодор Шванн предложил то, что сегодня называют *клеточной теорией*: все ткани тела состоят из микроскопических единиц, называемых *клетками*.



Рис. 1.13. Чарльз Дарвин (1809–1882). Дарвин предложил свою теорию эволюции, которая объясняет, как эволюционировали виды в процессе естественного отбора. (Источник: The Bettman Archive)

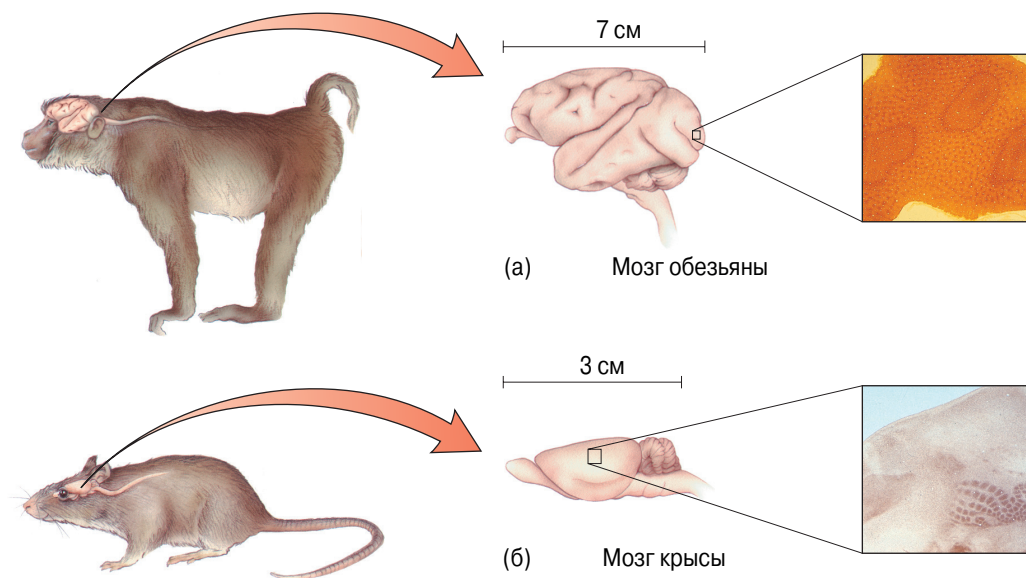
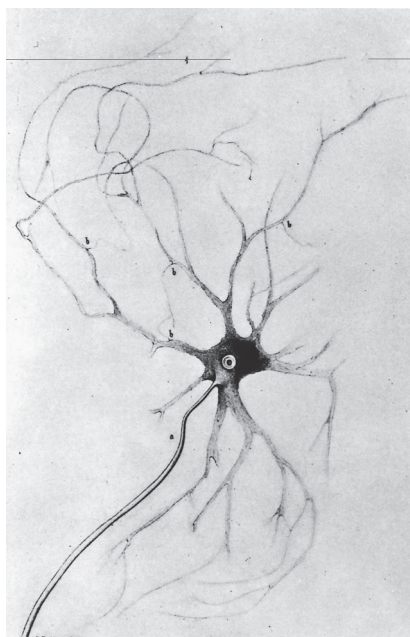


Рис. 1.14. Различная специализация мозга обезьян и крыс. (а) Мозг макаки имеет высокоразвитое чувство зрения. Область в рамке получает информацию от глаз. При разрезе и окраске этой области для определения метаболически активных тканей становятся видны мозаические “пятна”. Нейроны внутри пятен специализируются на анализе цветов визуального мира. (б) У мозга крысы высоко развиты органы осязания на морде. Область в рамке получает информацию от чувствительных усиков. При разрезе и окраске этой области с целью определения расположения нейронов видны мозаические “стопки”. Каждая стопка специализируется на получении входящей информации от одного усика на морде крысы. (Микрофотографии любезно предоставлены Dr. S.H.C. Hendry)

Несмотря на то что клетки мозга уже были найдены и описаны, все еще существовали разногласия относительно того, действительно ли отдельная “нервная клетка” является основной единицей функции мозга. Нервные клетки обычно имеют множество тонких отростков, отходящих от центрального тела клетки (рис. 1.15). Изначально ученые не могли решить, сливаются ли отростки различных нервных клеток воедино, как это делают сосуды кровеносной системы. Если так, то основная функциональная единица нервной системы является собой “нервную сеть” соединенных нервных клеток.

В главе 2 будет приведена короткая история о том, как решалась эта проблема. Достаточно сказать, что к 1900 г. отдельная нервная клетка, ныне называемая нейроном, стала считаться основной функциональной единицей нервной системы.

Рис. 1.15. Раннее изображение нервной клетки. На этом рисунке, опубликованном в 1865 г. немецким анатомом Отто Дейтерсом, изображена нервная клетка, или нейрон, и ее множественные отростки, или нейриты. На протяжении длительного времени считалось, что отростки различных нейронов должны сливаться воедино, подобно сосудам в кровеносной системе. Сегодня нам известно, что нейроны являются отдельными структурами, которые общаются посредством электрических и химических сигналов. (Источник: Clarke and O'Malley, 1968, Fig. 16)



СОВРЕМЕННАЯ НЕЙРОНАУКА

История современной нейронауки все еще пишется, а ее текущие успехи являются основой данной книги. В следующих главах мы рассмотрим самые последние научные открытия. Но перед этим давайте посмотрим, как сегодня изучается деятельность мозга и почему это так важно для общества.

Уровни анализа

История ясно показала, что понимание работы мозга — это важная задача. Чтобы упростить проблему, нейроченые разделили ее на мелкие части для систематического экспериментального анализа. Это называется *упрощение*. Размер изучаемой единицы определяет то, что часто называют *уровнем анализа*. В порядке повышения сложности этими уровнями являются следующие: молекулярный, клеточный, системный, поведенческий и когнитивный.

Молекулярная нейронаука

Мозг называют самой сложной материей во Вселенной. Вещество мозга состоит из фантастического разнообразия молекул, многие из которых уникальны для нервной системы. Эти различные молекулы играют разные роли, жизненно важные для функций мозга: посредники, позволяющие

нейронам связываться друг с другом; часовые, следящие за веществами, которые могут проникать в нейрон и выходить из него; дирижеры, которые курируют рост нейронов; и архивариусы воспоминаний о прошлом опыте. Изучение мозга на этом самом элементарном уровне называется *молекулярной нейронаукой*.

Клеточная нейронаука

Следующим уровнем анализа является клеточная нейронаука, которая занимается изучением того, каким образом совместная работа всех этих молекул дает нейронам их уникальные свойства. К вопросам, поднимаемым на этом уровне, относятся следующие: “Сколько существует разных типов нейронов и в чем различия их функций?”, “Как нейроны воздействуют на другие нейроны?”, “Как нейроны объединяются в процессе эмбрионального развития?”, “Как нейроны выполняют вычисления?”

Системная нейронаука

Группы нейронов формируют сложные схемы, выполняющие общие функции, такие как зрение или произвольные движения. Таким образом, мы можем говорить о “зрительной системе” и “двигательной системе”, каждая из которых имеет свой отдельный канал связи с мозгом. На этом уровне анализа, называемом *системной нейронаукой*, или *нейронаукой систем*, ученые изучают, каким образом различные нейронные схемы анализируют чувствительную информацию, формируют восприятие внешнего мира, принимают решения и выполняют движения.

Поведенческая нейронаука

Каким образом нейронные системы работают вместе, создавая интегрированное поведение, например различные формы памяти для различных систем? На какую систему мозга влияют психотропные вещества и какова нормальная роль этих систем в регуляции настроения и поведения? Какие нейронные системы влияют на гендерно-специфическое поведение? Что создает сны и на что они указывают? Эти вопросы изучает *поведенческая нейронаука*.

Когнитивная нейронаука

Вероятно, самой важной задачей в нейронауке является понимание нервных механизмов, ответственных за высшие уровни умственной деятельности человека, такие как сознание, воображение и речь. Исследования на этом уровне, называемом *когнитивной нейронаукой*, изучают, каким образом деятельность мозга образует сознание.

Нейроученые

“Нейроученый” звучит впечатляюще, почти как “инженер-ракетостроитель”. Но все мы были когда-то студентами, как и вы сейчас. По разным причинам — кому-то хотелось понять причины своего плохого зрения, кто-то заинтересовался вопросом, почему родственник после инсульта утратил способность говорить, — мы захотели узнать, как устроен мозг человека. Возможно, и вы тоже хотите.

Работа нейроученых вознаграждается, но эта награда дается нелегко. Требуется много лет практики. Вы можете начать помогать с исследованиями в лабораториях во время или после учебы в колледже, а затем поступить в аспирантуру и получить степень доктора наук или доктора медицины (или и то и другое). Затем обычно следует несколько лет последокторской практики, во время которой вы будете изучать новые технологии и научные подходы под руководством опытных нейроученых. В итоге молодой нейроученый готов начать работу в университете, институте или больнице.

В целом исследования в нейронауке (и, соответственно, нейроученых) можно разделить на три типа: *клинические*, *экспериментальные* и *теоретические*. Клинические исследования проводят в основном врачи. Основными медицинскими специализациями, связанными с нервной системой человека, являются неврология, психиатрия, нейрохирургия и невропатология (табл. 1.1). Многие клинические исследователи продолжают традицию Брока, пытаясь связать функции различных зон мозга с поведенческими эффектами повреждений мозга. Другие же проводят исследования плюсов и минусов новых видов лечения.

Несмотря на всю ценность клинических исследований, основа всех видов медицинского лечения нервной системы все еще закладывается учеными-экспериментаторами, которые могут иметь степень либо доктора наук, либо доктора медицины. Экспериментальный подход к изучению мозга столь широк, что охватывает практически все мыслимые методы. Нейронаука в большой степени является междисциплинарной, однако компетентность нейроученых в разных методиках отличает их друг от друга. Например, есть *нейроанатомы*, которые с помощью совершенных микроскопов отслеживают связи между нейронами; *нейрофизиологи*, применяющие электроды для регистрации электрической активности мозга; *нейрофармакологи*, использующие лекарственные препараты для изучения химической основы функций мозга; *молекулярные нейробиологи*, исследующие генетический материал нейронов в попытках найти подсказки относительно структуры молекул мозга; и тому подобные. В табл. 1.2 перечислены некоторые представители экспериментальной нейронауки.

Таблица 1.1. Врачи, деятельность которых связана с нервной системой

Специалист	Описание
Невролог	Диагностирует и лечит заболевания нервной системы
Психиатр	Диагностирует и лечит расстройства настроения и поведения
Нейрохирург	Проводит операции на головном и спинном мозге
Невропатолог	Исследует изменения в нервной ткани в результате заболеваний

Таблица 1.2. Представители экспериментальной нейронауки

Тип	Описание
Нейробиолог развития	Анализирует развитие и созревание мозга
Молекулярный нейробиолог	Использует генетический материал нейронов для понимания структуры и функций молекул мозга
Нейроанатом	Изучает структуру нервной системы
Нейрохимик	Изучает химию нервной системы
Нейроэтолог	Изучает нервные основы видоспецифического поведения животных в естественных условиях
Нейрофармаколог	Исследует влияние лекарственных средств на нервную систему
Нейрофизиолог	Измеряет электрическую активность нервной системы
Физиологический психолог (биологический психолог, психобиолог)	Изучает биологические основы поведения
Психофизик	Количественно измеряет способности восприятия

Теоретическая нейронаука является относительно молодой дисциплиной, в которой исследователи используют математические и вычислительные инструменты для понимания деятельности мозга на всех уровнях анализа. В частности, нейроученые-теоретики пытаются найти смысл в бесчисленном количестве данных, полученных экспериментаторами, чтобы сосредоточить эксперименты на самых важных задачах и внедрить математические принципы в понимание организации нервной системы.

Научный процесс

Нейроученые всех направлений пытаются установить правду о нервной системе. Независимо от выбранного уровня анализа, они используют научный процесс, состоящий из четырех ключевых этапов: наблюдение, воспроизведение, интерпретация и верификация.

Наблюдение

Наблюдение обычно проводят во время экспериментов, разработанных для тестирования определенной гипотезы. Например, Белл предположил, что передние корешки спинномозговых нервов содержат волокна, контролирующие мышцы. Чтобы проверить эту идею, он выполнил эксперимент, в ходе которого перерезал эти волокна, а затем наблюдал, возникнет мышечный паралич или нет. Другие виды наблюдения включают тщательное исследование окружающего мира, самоанализ или клинические истории пациентов. Например, внимательное наблюдение Брока позволило ему связать повреждение левой лобной доли с потерей речи.

Воспроизведение

Любое наблюдение, экспериментальное или клиническое, должно быть воспроизводимо. Другими словами, любой эксперимент может быть повторен на другом объекте или его можно наблюдать на других пациентах столько раз, сколько необходимо, чтобы исключить возможность случайного совпадения.

Интерпретация

Когда ученый убедился, что наблюдение верно, он интерпретирует его. Интерпретация зависит от уровня знания (или незнания) ученого на момент ее проведения, а также от его предвзятых мнений (предубеждений). Поэтому интерпретация не всегда выдерживает испытание временем. Например, во время своих наблюдений Флуранс не знал, что мозг птицы сильно отличается от мозга млекопитающих. Поэтому, основываясь на экспериментальной абляции на птицах, он ошибочно заключил, что в мозге млекопитающих нет определенных локализаций функций. Более того, как уже говорилось ранее, глубокое презрение к Галлю также повлияло на его интерпретацию. Проблема в том, что правильная интерпретация зачастую невозможна сразу после проведения наблюдений. Настоящие прорывы в науке порой возникают, когда старые наблюдения интерпретируются в новом свете.

Верификация

Верификация является последним этапом научного процесса. Этот этап отличается от воспроизведения, выполненного наблюдателем. Верификация значит, что наблюдения достаточно надежны, чтобы любой компетентный ученый, следуя протоколам первого наблюдателя, мог воспроизвести его. Удачная верификация обычно означает, что наблюдение принимается как факт. Однако не все наблюдения получается верифицировать. Например, из-за неточностей, допущенных в отчетах, или из-за недостаточной воспроизводимости. Однако чаще всего невозможность верификации является следствием нераспознанных переменных, таких как температура или время суток, влияющих на полученный результат. Таким образом, результат верификации в случае положительного ответа устанавливает новый научный факт, а в случае отрицательного — предлагает новые интерпретации первоначального наблюдения.

Иногда в популярных изданиях попадаются статьи о случаях научного мошенничества. Между исследователями происходит жесткое соревнование за ограниченные средства на исследования, и порой они ощущают существенное давление — “публикуйся или умри”. В интересах собственной выгоды некоторые и в самом деле публикуют “наблюдения”, которых в действительности никогда не было. К счастью, благодаря научному процессу такие случаи мошенничества являются большой редкостью. Вскоре другие ученые обнаруживают, что не могут верифицировать мошеннические наблюдения, и возникнет вопрос, как они могли наблюдаться изначально. Тот факт, что мы можем наполнить эту книгу таким количеством знаний о нервной системе, является свидетельством ценности научного процесса.

Использование животных для исследования нейронаук

Большинство наших знаний о нервной системе получено из экспериментов на животных. В большинстве случаев животных убивают, чтобы изучить их мозг нейроанатомически, нейрофизиологически и/или нейрохимически. Тот факт, что животными жертвуют ради достижения человеческих знаний, поднимает вопросы об этичности исследований на животных.

Животные

На протяжении всей истории люди считали животных и животные продукты возобновляемым природным ресурсом, который можно использовать в качестве еды, одежды, транспорта, отдыха, спорта и дружбы. Животные, используемые для исследований, образования и тестирования,

всегда были малой частью в сравнении с животными, используемыми для других целей. Например, в США количество животных, используемых во всех типах биомедицинских исследований, очень мало в сравнении с теми, которых убивают ради еды. Количество животных, используемых конкретно в нейронаучных исследованиях, и того меньше.

Нейронаучные исследования проводятся с использованием разных видов — от моллюсков до обезьян. Выбор вида обычно диктуется исследуемым вопросом, уровнем анализа и степенью, в которой полученные знания смогут быть применимы к людям. Как правило, чем проще исследуемый процесс, тем более отдаленной может быть его эволюционная связь с человеком. Поэтому эксперименты, целью которых является понимание молекулярной основы проведения нервных импульсов, могут проводиться на дальних родственниках, таких как кальмары. С другой стороны, понимание нервных основ нарушений движений и человеческого восприятия требует проведения экспериментов на более близких родственниках, таких как макаки. Сегодня больше половины животных, используемых в нейронаучных исследованиях, — это грызуны, мыши и крысы, выращенные специально для этих целей.

Защита животных

Сегодня в развитом мире самые образованные люди встревожены вопросом защиты животных. Нейроученые разделяют это беспокойство и работают, обеспечивая подопытным животным хорошие условия. Однако, как видно из некоторых научных работ прошлого, общество не всегда уделяло столько внимания благосостоянию животных. Например, для своих экспериментов Мажанди в начале XIX века использовал щенков под анестезией (за что позже был раскритикован своим научным конкурентом Беллом). К счастью, повышенная обеспокоенность благополучием животных привела к серьезному улучшению обращения с животными во время биомедицинских исследований.

Современные нейроученые опираются на моральные принципы, когда используют животных в своих исследованиях.

1. Использовать животных лишь в экспериментах, которые обещают дать нам новые знания о человеческой нервной системе.
2. Принимать все необходимые меры, чтобы минимизировать боль и страдания подопытных животных (использование анестетиков, анальгетиков и т.д.).
3. Рассматривать все возможные альтернативы использованию животных.

За соблюдением этого этического кодекса наблюдают несколькими способами. Во-первых, в соответствии с федеральным законодательством США предложение исследования должно пройти рассмотрение Комитета по содержанию и использованию лабораторных животных (Institutional Animal Care and Use Committee (IACUC)). Члены этого комитета включают ветеринаров, ученых других областей и представителей ненаучного сообщества. После одобрения в IACUC предложения оцениваются на предмет научной значимости командой экспертов-нейроученых. Этот этап гарантирует проведение лишь самых целесообразных исследований. Затем, когда нейроученые дадут разрешение на публикацию своих наблюдений в профессиональных изданиях, другие нейроученые тщательно изучают документы на предмет научной значимости и состояния животных. Какие-либо замечания по одному из вопросов могут привести к отклонению документов, что, в свою очередь, приведет к потере бюджета, вложенного в исследование. Помимо этих процедур наблюдения, федеральное законодательство устанавливает строгие стандарты по содержанию и уходу за лабораторными животными.

Права животных

Большинство людей принимают необходимость экспериментов над животными для получения знаний, поскольку они выполняются гуманно и с соблюдением должного уважения к благосостоянию животных. Однако активное и все более жестокое меньшинство требует полного запрета на использование животных в целях, в том числе экспериментальных. Эти люди придерживаются философской позиции, порой называемой *правами животных*. Следуя им, животные имеют те же законные и моральные права, что и люди.

Если вы любите животных, вы можете стать на защиту этой позиции. Но задумайтесь над следующими вопросами. Вы бы хотели лишиться себя и свою семью медицинских процедур, которые были разработаны с использованием животных? Равноценны ли смерть мыши и смерть человека? Является ли содержание питомца эквивалентом рабства? Является ли употребление мяса моральным эквивалентом убийства? Будет ли неэтичным отнять жизнь свиньи, чтобы спасти жизнь ребенка? Является ли уничтожение грызунов в канализации или тараканов у вас дома моральным эквивалентом Холокоста? Если вы ответили “нет” на любой из вышеприведенных вопросов, то вы не поддерживаете философию прав животных. *Гуманное отношение к животным*, разделяемое всеми ответственными людьми, не следует путать с борьбой за права животных.

Борцы за права животных ведут активную пропаганду против исследований на животных, причем иногда с пугающим успехом. Они манипулируют

мнением общественности путем повторения утверждений о жестокости экспериментов на животных, которые на самом деле грубо искажены и откровенно ложны. Они громят лаборатории, уничтожая научные данные, полученные за годы напряженного труда, и разрушают оборудование (купленное за деньги налогоплательщиков), принося убытки на сотни и тысячи долларов. Жестокими угрозами они заставили совсем уйти из науки некоторых исследователей.

К счастью, ситуация изменилась. Благодаря усилиям множества людей, в том числе далеких от науки, были разоблачены ложные заявления экстремистов и доказана польза экспериментов над животными для всего человечества (рис. 1.16). Зная, как страдают люди с заболеваниями нервной системы, нейроученые настаивают на том, что наша задача состоит в мудром использовании ресурсов, предоставленных нам природой, в том числе и животных, для изучения работы мозга в здоровом состоянии и при различных нарушениях.

Цена невежества: заболевания нервной системы

Современные нейронаучные исследования дороги, но цена за безразличие к нашему мозгу может быть гораздо выше. В табл. 1.3 перечислены некоторые заболевания, поражающие нервную систему. Существует большая вероятность, что ваша семья сталкивалась с последствиями одного или нескольких из них. Рассмотрим несколько заболеваний мозга и оценим их влияние на общество.

Болезни Альцгеймера и Паркинсона характеризуются прогрессирующей дегенерацией определенных нейронов в головном мозге. Болезнью Паркинсона, вызывающей инвалидизирующее нарушение произвольных движений, на текущий момент болеет 500 000 американцев.¹ Болезнь Альцгеймера приводит к деменции, состоянию спутанности сознания, характеризующему потерей способности изучать новую информацию и вспоминать ранее полученные знания. Деменция поражает в среднем 18% людей в возрасте старше 85 лет.² Количество американцев с деменцией составляет более четырех миллионов. На самом деле сейчас деменция воспринимается не как неминуемое следствие старения, а как симптом заболевания мозга. Болезнь Альцгеймера безжалостно прогрессирует, отнимая у своих жертв сначала разум, затем контроль над жизненными функциями и в конечном

¹ National Institute of Neurological Disorders and Stroke. "Parkinson Disease Background-er". October 18, 2004.

² U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Healthcare Research and Quality. "Approximately 5 Percent of Seniors Report One or More Cognitive Disorders". March 2011.

итоге жизнь; это заболевание всегда смертельно. В США ежегодная стоимость ухода за людьми с деменцией составляет более 100 миллиардов долларов и растет волнующими темпами.

Вы не видите животных, которые на самом деле помогли ей поправиться



Недавно хирургическая техника, усовершенствованная в ходе экспериментов на животных, была использована для удаления злокачественной опухоли мозга у маленькой девочки.

Мы потеряли несколько лабораторных животных.

Зато вот кого мы спасли.

Рис. 1.16. Мы обязаны продолжать исследования на животных. Этот постер противодействует заявлениям борцов за права животных путем повышения осведомленности общественности о пользе исследований на животных. (Источник: Foundation for Biomedical Research)

Таблица 1.3. Некоторые серьезные заболевания нервной системы

Заболевание	Описание
Болезнь Альцгеймера	Прогрессирующее дегенеративное заболевание мозга, которое характеризуется деменцией и всегда приводит к смерти
Аутизм	Нарушение, развивающееся в раннем детском возрасте и характеризующееся расстройством общения и социальных взаимодействий, а также ограниченным и повторяющимся поведением
Детский церебральный паралич	Двигательное нарушение, вызываемое повреждением головного мозга до, во время или вскоре после родов
Депрессия	Серьезное расстройство настроения, которое характеризуется бессонницей, потерей аппетита и чувством подавленности
Эпилепсия	Состояние, характеризующееся периодическими нарушениями электрической активности мозга, что может приводить к припадкам, потере сознания и нарушениям восприятия
Рассеянный склероз	Прогрессирующее заболевание, поражающее нервную проводимость, характеризуется эпизодами слабости, потери координации и нарушениями речи
Болезнь Паркинсона	Прогрессирующее заболевание головного мозга, которое приводит к нарушению произвольных движений
Шизофрения	Тяжелое психическое заболевание, которое характеризуется бредом, галлюцинациями и странностями в поведении
Спинальный паралич	Потеря чувствительности и движений, вызванная травматическим повреждением спинного мозга
Инсульт	Нарушение функций головного мозга, вызванное прекращением кровоснабжения, обычно приводящее к постоянному чувствительному, двигательному или когнитивному дефициту

Депрессия и шизофрения являются расстройствами настроения и мышления. Депрессия характеризуется непреодолимым чувством подавленности, беспомощности и вины. Более 30 миллионов американцев на протяжении своей жизни имели продолжительные эпизоды депрессии. Депрессия

является ведущей причиной самоубийств, которые в США отнимают более 30 тысяч жизней ежегодно.³

Шизофрения – это тяжелое психиатрическое заболевание, характеризующееся бредом, галлюцинациями и странностями в поведении. Это заболевание часто проявляется в самом расцвете сил – в подростковом или раннем зрелом возрасте – и сохраняется на протяжении всей жизни. Более двух миллионов американцев страдают шизофренией. Национальный институт психического здоровья (The National Institute of Mental Health (NIMH)) подсчитал, что психические заболевания, такие как депрессия и шизофрения, стоят для США более 150 миллиардов долларов в год.

Инсульт считается четвертой по частоте причиной смертности в США. Выжившие жертвы инсульта, которых более полумиллиона в год, имеют большую вероятность стать инвалидами на всю оставшуюся жизнь. Стоимость лечения последствий инсультов по всей стране составляет более 54 миллиардов долларов в год.⁴

Практически каждая семья в США сталкивалась с алкогольной или наркотической зависимостью. Ущерб от этой проблемы с учетом лечения, потерянной зарплаты и других последствий составляет более 600 миллиардов долларов в год.⁵

Эти несколько примеров затрагивают лишь верхушку айсберга. *Американцев с неврологическими и психическими заболеваниями ежегодно госпитализируется больше, чем с любыми другими заболеваниями, включая сердечно-сосудистые и онкологические.*

Экономические издержки нарушений функций мозга огромны, но они меркнут в сравнении с ошеломляющими эмоциональными последствиями для жертв и их семей. Предотвращение и лечение нарушений мозга требует понимания нормальной работы мозга, и как раз это базовое понимание является главной целью нейронаук. Нейронаучные исследования уже сделали ощутимый вклад в эффективное лечение болезни Паркинсона, депрессии и шизофрении. Сейчас тестируются новые стратегии, которые могут помочь спасти погибающие нейроны у людей с болезнью Альцгеймера или перенесших инсульт. Мы достигли существенного прогресса в понимании того, как алкоголь и наркотики влияют на мозг и вызывают

³ National Institute of Mental Health. “Suicide in the U.S.: Statistics and Prevention”. September 27, 2010.

⁴ American Heart Association / American Stroke Association. “Impact of Stroke (Stroke Statistics)”. May 1, 2012.

⁵ National Institutes of Health, National Institute of Drug Abuse. “DrugFacts: Understanding Drug Abuse and Addiction”. March 2011.

зависимость. Материал этой книги демонстрирует, как много всего нам известно о функциях головного мозга. Но наши знания несущественны по сравнению с тем, что нам еще предстоит изучить.

РЕЗЮМЕ

Исторический фундамент нейронаук закладывался многими людьми на протяжении многих поколений. Мужчины и женщины сегодня работают на всех уровнях анализа, используя все доступные технологии, чтобы пролить еще больше света на работу нашего мозга. Плоды этой работы составляют основу этой книги.

Целью нейронаук является понимание работы нервной системы. Множество важных выводов можно сделать, изучая деятельность человека. Благодаря тому что активность мозга отражается в поведении, тщательные поведенческие измерения дают нам информацию о способностях и ограничениях функций мозга. Компьютерные модели, которые воспроизводят вычислительные свойства мозга, помогают нам понять, откуда же берутся эти свойства. На коже головы мы можем измерять мозговые волны, которые могут дать нам информацию об электрической активности различных зон мозга во время различных психических состояний. Новые компьютер-ассистированные диагностические техники позволяют ученым исследовать структуру живого мозга прямо в черепе. А используя еще более совершенные диагностические техники, мы можем видеть, какие зоны человеческого мозга активируются в разных условиях. Но ни один из этих неинвазивных методов, старых или новых, не может полностью заменить эксперименты на живой мозговой ткани. Мы не можем понять суть удаленно зафиксированных сигналов, если не знаем, как они генерируются и каково их значение. Чтобы понять, *как* именно работает мозг, мы должны вскрыть черепную коробку и заглянуть внутрь — нейроанатомически, нейрофизиологически и нейрохимически.

Темпы нейронаучных исследований сегодня действительно поражают, давая нам надежду на скорое открытие новых лекарств от целого ряда заболеваний нервной системы, ежегодно поражающих и калечащих миллионы людей. Однако, несмотря на огромный прогресс последних десятилетий и предшествующих им веков, нам все еще предстоит долгий путь к полному пониманию того, как мозг выполняет все свои возможные действия. Но в этом и кроется главная прелесть работы нейрочеловека: благодаря тому, что мы так мало знаем о функциях мозга, новое поражающее открытие может ждать нас практически на каждом шагу.



Вопросы для самопроверки

1. Что такое желудочки мозга и какие функции им приписывали на протяжении веков?
2. Какой эксперимент выполнил Белл, чтобы показать, что нервы тела содержат смесь чувствительных и двигательных волокон?
3. Какие функции большого мозга и мозжечка были предположены экспериментами Флуранса?
4. Что означает термин *животная модель*?
5. Одна из областей мозга сегодня называется зоной Брока. Как вы считаете, какие функции может выполнять эта зона и почему?
6. Какие существуют уровни анализа в нейронаучных исследованиях? Какими вопросами задаются исследователи на каждом уровне?
7. Какие существуют этапы научного процесса? Опишите каждый из них.



Дополнительная литература

1. Allman JM. 1999. *Evolving Brains*. New York: Scientific American Library.
2. Clarke E, O'Malley C. 1968. *The Human Brain and Spinal Cord*, 2nd ed. Los Angeles: University of California Press.
3. Corsi P, ed. 1991. *The Enchanted Loom*. New York: Oxford University Press.
4. Crick F. 1994. *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*. New York: Macmillan.
5. Finger S. 1994. *Origins of Neuroscience*. New York: Oxford University Press.
6. Glickstein M. 2014. *Neuroscience: A Historical Introduction*. Cambridge, MA: MIT Press.