

МАЙКЛ ГАЗЗАНИГА  
КТО ЗА ГЛАВНОГО



СВОБОДА ВОЛИ  
С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ  
НЕЙРОНАУКИ



КНИГИ ПОЛИТЕХА

Corpus scientificum

Майкл Газзанига

**Кто за главного? Свобода воли  
с точки зрения нейробиологии**

«Corpus (АСТ)»

2011

УДК 612.82  
ББК 28.707.3

**Газзанига М.**

Кто за главного? Свобода воли с точки зрения нейробиологии /  
М. Газзанига — «Corpus (АСТ)», 2011 — (Corpus scientificum)

ISBN 978-5-17-085436-3

Загадка повседневной жизни заключается в том, что все мы, биологические машины в детерминированной Вселенной, тем не менее ощущаем себя целостными сознательными субъектами, которые действуют в соответствии с собственными целями и свободно принимают решения. В книге “Кто за главного?” Майкл Газзанига объясняет, несет ли каждый человек личную ответственность за свои поступки. Он рассказывает, как благодаря исследованиям расщепленного мозга был открыт модуль интерпретации, заставляющий нас считать, будто мы действуем по собственной свободной воле и сами принимаем важные решения. Автор помещает все это в социальный контекст, а затем приводит нас в зал суда, показывая, какое отношение нейробиология имеет к идее наказания и правосудию.

УДК 612.82  
ББК 28.707.3

ISBN 978-5-17-085436-3

© Газзанига М., 2011  
© Corpus (АСТ), 2011

# Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение                                   | 6  |
| Глава 1                                    | 9  |
| Развитие мозга                             | 12 |
| Эквипотенциальность                        | 13 |
| Связи и специфичность нейронов             | 15 |
| Опыт                                       | 18 |
| Отбор или обучение                         | 19 |
| Процесс, зависящий от активности           | 21 |
| Путь к <i>Homo sapiens</i>                 | 24 |
| Физические особенности человеческого мозга | 28 |
| У нас просто разные нейронные сети         | 34 |
| Глава 2                                    | 35 |
| Локализованные функции мозга?              | 36 |
| Великий мир бессознательного               | 38 |
| Помощь пациентов                           | 39 |
| Функциональные модули                      | 40 |
| Расщепление мозга                          | 41 |
| Двойное сознание?                          | 46 |
| Конец ознакомительного фрагмента.          | 47 |
| Список литературы                          |    |

# **Майкл Газзанига**

## **Кто за главного? Свобода воли с точки зрения нейробиологии**

© Michael S. Gazzaniga, 2011 All rights reserved

© М. Завалов, перевод на русский язык, 2017

© А. Якименко, перевод на русский язык, 2017

© А. Бондаренко, художественное оформление, макет, 2017

© ООО “Издательство АСТ”, 2017

Издательство CORPUS ®

*Посвящается Шарлотте – без сомнения, восьмому чуду света*

## Введение

Гиффордские лекции читаются в старейших шотландских университетах с 1888 года – уже более 125 лет. Они были организованы по распоряжению и благодаря завещанным средствам лорда Адама Гиффорда, эдинбургского адвоката и судьи XIX века, страстно увлекавшегося философией и естественной теологией. Согласно его воле, предметом лекций, носящих его имя, должно было стать богословие, понимаемое “строго с точки зрения естественных наук” и “без ссылок и опоры на какие-либо предполагаемые исключительные явления или на так называемое чудесное откровение. Я желаю, чтобы богословие рассматривалось так же, как астрономия или химия. <...> [Тут] можно свободно обсуждать... все вопросы о том, как человек представляет себе Бога или Бесконечное, об их происхождении, природе и истинности, о том, применительны ли подобные концепции к Богу, существуют ли для него какие-либо ограничения, и если да, то какие, и так далее, поскольку я убежден, что свободные дискуссии могут принести только пользу”. Гиффордские лекции посвящены религии, науке и философии. Если вы попытаетесь познакомиться с книгами, написанными по этим лекциям, то быстро поймете, насколько они ошеломляют. Некоторые величайшие мыслители западного мира совершенствовали свои идеи благодаря этим лекциям – среди них Уильям Джеймс, Нильс Бор и Альфред Норт Уайтхед. Многие из длинного списка участников развязывали большие интеллектуальные сражения: одни настаивали на необъятности Вселенной и критиковали неспособность светского мира дать нам приемлемое объяснение смысла жизни, в то время как другие решительно отбрасывали теологию – естественную или любую другую – как предмет, на который взрослому человеку не стоит тратить время. Казалось, все уже было сказано, причем формулировки обладали такой ясностью и силой, что, когда меня пригласили добавить собственное мнение, я хотел отказаться.

Думаю, я как все те, кто прочел множество книг, написанных по гиффордским лекциям: мы несем в себе сильное неудовлетворенное желание лучше понять ту ситуацию, в которой мы, люди, оказались. В каком-то смысле мы оглушены своим интересом, поскольку теперь нам действительно многое известно о физическом мире и большинство из нас соглашается с выводами современной науки, даже если порой трудно принять чисто научные взгляды. Размышляя о подобных вещах, которым как раз и посвящены Гиффордские лекции, я понял, что тоже хочу добавить свои пять копеек. Хотя участие в такой дискуссии меня пугает так же сильно, как и опьяняет, я хочу показать, что весь сонм выдающихся научных достижений все еще оставляет нам один неоспоримый факт. *Каждый человек несет личную ответственность за свои поступки – несмотря на то, что мы живем в детерминированной Вселенной.*

Мы, люди, – большие животные, очень хитрые и умные, и зачастую чрезмерно используем свое мышление. Мы спрашиваем себя: и это все? Может ли быть такое, что мы просто более причудливые и изобретательные животные, чем те, которые ходят под столом, ожидая подачки? Разумеется, мы устроены куда сложнее, чем, например, пчела. Помимо автоматических реакций, которые есть и у пчелы, у нас, людей, есть также мышление и самые разные убеждения, а обладание ими перевешивает любые произвольные биологические процессы и “комплектующие”, отшлифованные эволюцией, которая сделала нас такими, какие мы есть. Обладание убеждениями, пусть и ложными, вынудило Отелло убить свою любимую жену, а Сидни Картон – добровольно отправиться на гильотину вместо своего друга и заявить, что это самый прекрасный поступок в его жизни. Человечество – венец творения, даже если порой мы чувствуем себя незначительными, когда глядим вверх на миллиарды звезд и вселенных, внутри которых живем. Нас все равно преследует вопрос: разве мы не часть более грандиозного замысла? Традиционная, добытая тяжелым трудом научная и философская мудрость гла-

сит, что у жизни нет иного смысла, кроме того, которым мы сами ее наделяем. Он полностью зависит от нас, даже если мы продолжаем мучительно сомневаться, так ли это на самом деле.

Однако сейчас некоторые ученые и философы пошли еще дальше – они утверждают, что привносимое нами в жизнь от нас не зависит. Вот некоторые истины из разряда современных знаний и неприятные выводы, которые из них следуют. Физико-химический аппарат головного мозга каким-то неведомым образом порождает наш разум, подчиняясь при этом физическим законам Вселенной, как любой другой материальный объект. На самом деле, если задуматься, мы бы и не хотели, чтобы было иначе. Скажем, мы не желали бы, чтобы наши действия приводили к хаотичным движениям: поднося руку ко рту, мы рассчитываем, что мороженое очутится именно в нем, а не у нас на лбу. Однако есть люди, которые утверждают, что мы, по сути, зомби, лишённые свободной воли, раз наш мозг подчиняется законам физического мира. Многие ученые полагают, что человек понимает, кто он и что он такое, лишь после того, как его нервная система уже осуществила определенную деятельность. Впрочем, большинство людей слишком заняты – им некогда обдумывать подобные утверждения, а потому они и не могут почувствовать на себе их бремя, так что экзистенциальное отчаяние становится уделом лишь немногих. Мы хотим завершить работу и отправиться домой к своей семье, поиграть в покер, посплетничать, выпить виски, посмеяться – просто жить.

Большую часть времени мы, похоже, совсем не бьемся над разгадкой смысла жизни. Мы хотим не думать о жизни, а жить.

И все же есть одно убеждение, которое господствует в интеллектуальном сообществе, – представление о том, что мы живем в жестко детерминированной Вселенной. Кажется, это утверждение логически следует из всего, что род человеческий узнал о ее природе. Законы физики управляют тем, что происходит в физическом мире. Мы – его часть. Следовательно, существуют физические законы, управляющие нашим поведением и даже самим сознанием. Детерминизм – как физический, так и социальный – правит бал, и нам остается только признать его власть и жить дальше. Эйнштейн и Спиноза с этим соглашались. Кто мы такие, чтобы сомневаться? Убеждения влекут за собой последствия, а поскольку мы, как верят многие, живем в детерминированном мире, зачастую нас просят не спешить с осуждением других и не требовать, чтобы люди несли ответственность за свои поступки или антисоциальное поведение.

На протяжении многих лет на Гиффордских лекциях тема детерминизма рассматривалась с самых разных точек зрения. Специалисты по квантовой физике говорили, что с тех пор, как квантовая механика заменила ньютоновские представления о материи, в детерминизме появилось пространство для маневра. На атомном уровне действует принцип неопределенности, а это значит, что вы можете выбрать кусок бостонского пирога вместо ягод, когда в следующий раз будут разносить десерт, – и этот ваш выбор не был предопределен в момент Большого взрыва.

В то же время другие ученые доказывали, что неопределенность в мире атомов не имеет отношения к работе нервной системы и к тому, как она в конечном итоге порождает человеческое мышление. Доминирующая идея современной нейронауки заключается в следующем: благодаря всестороннему изучению мозга однажды мы поймем, как он порождает разум, и окажется, что тот подчиняется причинно-следственным связям, а значит, все предопределено.

Мы, люди, по-видимому, предпочитаем отвечать на вопросы “да” или “нет”, склонны к бинарному выбору: все или ничего, только наследственность или только среда, все предопределено или все случайно. Я намерен доказать, что все не так просто и что современная нейронаука на самом деле не устанавливает ничего такого, что могло бы выразиться в массовом фундаментализме по сравнению с детерминизмом. Я придерживаюсь мнения, что разум, который каким-то образом порождается физическими процессами в мозге, ограничивает его. Как политические нормы разрабатываются конкретными людьми, а в конечном счете контролируют

своих создателей, так и возникший разум сдерживает наш мозг. Если сегодня все согласны, что для понимания мира необходимо изучать причинно-следственные связи, разве нам не нужны новые парадигмы для описания взаимодействий и взаимозависимости физического и психического? Профессор Калифорнийского технологического института Джон Дойл отмечает, что в мире аппаратно-программного обеспечения – “железа” и “софта”, – где все известно об обеих составляющих, работают они только в тесной связке друг с другом. И никто до сих пор не смог описать это явление. Когда мозг породил разум, случилось нечто вроде Большого взрыва. Транспортный поток на улицах, порождаемый машинами, в итоге ограничивает их движение. Разве не может разум вести себя так же с мозгом, который пробудил его к жизни?

Эта тема всплывает снова и снова, подобно пробке, которую пытаются погрузить в воду. Взаимосвязь разума и мозга, с возникшими в результате “осложнениями” в виде личной ответственности, продолжает привлекать наше внимание. Важность ответа на вопрос, как соотносятся мозг и разум, – ключевой вопрос для понимания того, что мы, люди, переживаем как чувствующие, задумывающиеся о будущем и ищущие смысл животные, – трудно переоценить. Я хочу продолжить традицию исследования этой фундаментальной темы и обрисовать прогресс (каким я его вижу), достигнутый в понимании того, как же сопрягаются мозг и разум. Сдерживает ли разум мозг, или же мозг все совершает самостоятельно? Это скользкий вопрос, и нигде в этой книге я не говорю, что разум совершенно независим от мозга. Это не так.

Перед началом нашего путешествия важно вспомнить, что именно нам в XXI веке известно (как нам кажется) о том, кто мы такие. На протяжении последних ста лет мы активно накапливали знания о том, что нами движет. Обескураживающий вопрос, который стоит сейчас перед нами: упраздняют ли эти знания прежние представления о природе человеческого существования?

В серии моих гиффордских лекций и в этой книге я считаю своим долгом обобщить те знания, которые мы получили к настоящему времени и которыми не обладали великие умы прошлого. Несмотря на фантастическую полноту сведений, накопленных специалистами по нейронаукам о механизмах разума, эти знания не влияют на ответственность – одну из основополагающих ценностей человеческой жизни. Чтобы обосновать этот довод, я собираюсь описать тот путь (включая и некоторые отклонения от него), который привел нас к нынешним представлениям о мозге, и рассказать, что же мы знаем о том, как он работает. Чтобы понять некоторые утверждения о жизни в детерминированном мире, мы обсудим несколько разных уровней научных знаний, двигаясь от микромира субатомных частиц (бьюсь об заклад, вы и не думали, что нас заведет туда нейробиология) к социальному макромиру, где мы с вами с волнением наблюдаем за футбольным матчем. Такой переход поможет нам осознать, что в физическом мире действуют разные системы законов в зависимости от того, на каком уровне организации материи мы его изучаем, а также какое отношение это имеет к человеческому поведению. А в конце мы с вами окажемся в зале суда.

Несмотря на все наши познания в области физики, химии, биологии, психологии и других наук, когда отдельные подвижные части картинки рассматриваются как одна динамическая система, мы видим реальность, которую невозможно отрицать. Мы отвечаем за свое поведение. Как говорят мои дети, смиритесь с этим. Жизнь человека поистине прекрасна.

## Глава 1

### Какие мы

Существует такая загадка повседневной жизни: все мы ощущаем себя целостными сознательными субъектами, действующими в соответствии с собственными целями, и можем свободно принимать решения почти любого рода. В то же время все понимают, что люди – машины, пусть и биологические, а физическим законам природы подчиняются любые машины, искусственные и “человеческие”. Действительно ли оба типа машин жестко детерминированы, как считал Эйнштейн, который не верил в свободу воли, или же мы свободны выбирать, как нам того хочется?

Ричард Докинз излагает мнение просвещенной науки, что все мы – детерминированные механические машины, и тут же указывает на очевидное следствие. Почему тогда мы наказываем людей за антисоциальное поведение? Почему бы нам не рассматривать их просто как тех, кого следует исправить? В конце концов, говорит он, если наша машина не заводится и срывает наши планы, мы не кидаемся на нее с кулаками и не пинаем. Мы чиним ее.

А если это не машина, а лошадь, сбросившая седока? Что мы делаем в этом случае? Мысль дать ей хорошего тычка скорее придет вам на ум, чем решение просто отправить ее на конюшню для перевоспитания. Чем-то одушевленная плоть вызывает у нас особые реакции, присущие людям, а вместе с ними вытаскивает на свет множество чувств, ценностей, целей, намерений и психический состояний. Одним словом, есть что-то в том, как мы (и, вероятно, наш мозг) устроены, что, похоже, во многом управляет нашим повседневным поведением и мышлением. По-видимому, в нас много сложных составляющих. Наша крайне самостоятельная машина мозга работает сама по себе, хотя каждый из нас думает, что он за главного. Вот в этом и заключается загадка.

Наш мозг – это чрезвычайно распределенная параллельная система с несметным количеством точек принятия решения и центров интеграции. Круглосуточно семь дней в неделю мозг управляет нашими мыслями, желаниями и телом. Миллионы нейронных сетей – это туча вооруженных отрядов, а не одинокий солдат, ожидающий приказа командира. Кроме того, это детерминированная система, а не какой-то лихой ковбой, который действует вне физических и химических законов, работающих в нашей Вселенной. И все же эти современные факты несколько не убеждают нас, что не существует главного “себя” – собственного “я”, командующего в каждом из нас. Опять парадокс. И наша задача – попытаться понять, как все это может работать.

Достижения человеческого мозга – веская причина, по которой мы убеждены в существовании нашего центрального и целеполагающего “я”. Современные технологии и человеческие ноу-хау настолько поразительны, что обезьяну с мозговым имплантатом в Северной Каролине можно подключить к интернету – и при соответствующей стимуляции активность ее нейронов будет управлять движениями робота в Японии. Мало того, нервный импульс дойдет до Японии раньше, чем он может дойти до собственной лапы этой обезьяны! Приведем пример попроще: подумайте о своем ужине. Если повезет, сегодня вечером вы отведаете, скажем, листья местного салата с кусочками груши из Чили и изумительно вкусной горгонзолы из Италии, отбивную из молодой новозеландской баранины, жареный картофель из Айдахо и французское красное вино. Сколько разных талантливых и изобретательных людей поучаствовало в осуществлении обоих описанных сценариев? Масса народу. От человека, который придумал выращивать свою собственную пищу, и того, кто обнаружил любопытные свойства несвежего виноградного сока, до Леонардо да Винчи, впервые нарисовавшего летательный аппарат. От того, кто первым надкусил заплесневелый сыр и почувствовал его прекрасный вкус, до мно-

жества ученых, инженеров, разработчиков программного обеспечения, фермеров, владельцев ранчо, виноделов, сотрудников служб транспортировки, розничных торговцев и поваров, которые внесли свой вклад. Нигде в животном царстве не существует такой изобретательности и сотрудничества между особями, не состоящими в родстве. Удивительно, что есть люди, которые не видят большой разницы между способностями человека и умениями других животных. Получается, они совершенно уверены в том, что их любимый пес с большими печальными глазами вот-вот опубликует самоучитель под названием “Как управлять двуногим соседом по дому, не вставая с дивана”.

Люди распространились по всему миру и живут в самых разных условиях окружающей среды. В то же время наши ближайшие родственники, шимпанзе, находятся под угрозой исчезновения. Почему же, спросите вы, люди как вид так успешны, тогда как ближайшие родственники человека с трудом выживают? Мы можем решать такие задачи, которые ни одному другому животному не по зубам. Значит, человек явно обладает чем-то, чего у других животных нет. Однако нам трудно признать это. Нам в начале XXI века доступно куда больше знаний, которые помогут ответить на подобные вопросы, чем любознательным и дотошным исследователям прошлого. А таких среди наших предков было немало: интерес людей к тому, что мы и кто мы, стар как мир. На стенах Храма Аполлона в Дельфах, построенного в VII веке до нашей эры, был высечен призыв “Познай самого себя”. Человека всегда завораживали вопросы о происхождении разума, собственного “я” и человеческой природы. Что породило такое любопытство? Едва ли о подобных материях размышляет ваша собака, лежа на диване.

Сегодня специалисты в области нейронаук изучают мозг так: залезают в него, регистрируют его сигналы, стимулируют, анализируют и сравнивают с мозгом других животных. Подобным образом были раскрыты некоторые тайны мозга и построено множество новых гипотез. Однако нам не стоит зазнаваться. Еще в V веке до нашей эры Гиппократ, словно он был современным нейробиологом, писал: “Полезно также знать людям, что не из иного места возникают в нас удовольствия, радости, смех и шутки, как именно отсюда (от мозга), откуда также происходят печаль, тоска, скорбь и плач. И этой именно частью мы мыслим и разумеем, видим, слышим и распознаем постыдное и честное, худое и доброе, а также все приятное и неприятное. <...> От этой же самой части нашего тела мы и безумствуем, и сумасшествуем, и являются нам страхи и ужасы.”<sup>[1]</sup> Детали Гиппократ описал, конечно, расплывчато, но основные принципы изложил.

Думаю, науке ничего не остается, кроме как объяснить механизмы всех этих процессов. При этом нам лучше следовать совету Шерлока Холмса, известного своим научным методом: “Трудность в том, чтобы выделить из массы измышлений и домыслов досужих толкователей и репортеров несомненные, непреложные факты. Установив исходные факты, мы начнем строить, основываясь на них, нашу теорию и попытаемся определить, какие моменты в данном деле можно считать узловыми”<sup>[2]</sup>.

Этот подход – ничего, кроме фактов, – позволяет приступить к решению головоломки, и первые исследователи мозга начали именно в таком духе. Что это за штука? Давайте возьмем труп, вскроем череп и поглядим. Понаделаем в мозге дыр. Давайте исследуем людей, переживших инсульт. Попробуем записать электрические сигналы мозга. Изучим, как он меняется в процессе развития. Как вы увидите, такого рода простые вопросы мотивировали первых ученых и продолжают вдохновлять многих и сегодня. Однако постепенно вы осознаете, что безнадежно даже пытаться разрешить вопрос о существовании собственного “я” (в противовес концепции, согласно которой человек – лишь машина), не изучая поведение организмов и не разбираясь, для чего именно предназначена наша развитая психическая система. Как отметил великий исследователь мозга Дэвид Марр, невозможно понять, как работает крыло птицы, изучая ее оперение. По мере накопления фактов нужно давать им функциональный контекст,

а затем анализировать, какие ограничения он может накладывать на составляющие его элементы, которые обеспечивают выполнение конкретной функции. Итак, начнем.

## **Развитие мозга**

То, что звучит так коротко и отрывисто, как “развитие мозга”, должно быть несложным для изучения и понимания, однако у человека развитие – очень широкое понятие. Оно охватывает не только нейронный, но и молекулярный уровень, и не только когнитивные изменения во времени, но и воздействие внешнего мира. Оказывается, это отнюдь не простое понятие: попытка отделить факты от предположений то и дело уводит нас по длинному и трудному пути с множеством окольных тропинок. Такая участь и ждала ученых, попытавшихся разобраться в основах развития и работы мозга.

## Эквипотенциальность

В начале XX века ученым пришлось пойти по такому обходному пути. Последствия до сих пор осаждают и мир науки, и неспециалистов: ведутся нескончаемые споры о том, что больше влияет на развитие человека – наследственность или среда. В 1948 году в Дартмутском колледже, моей альма-матер, двое величайших психологов Канады и Америки – Карл Лешли и Дональд Хебб – встретились, чтобы обсудить такой вопрос: является ли мозг “чистой доской” и обладает ли в значительной степени тем, что сегодня мы называем пластичностью, или же он несет в себе ограничения и сам каким-то образом детерминирован собственной структурой?

На тот момент теория чистой доски господствовала уже около двадцати лет, и Лешли был одним из ее первых сторонников. Он был в числе исследователей, впервые применивших физиологические и аналитические методы для изучения механизмов мозга и интеллекта животных. Лешли аккуратно повреждал кору головного мозга крыс, а затем оценивал нанесенный животным урон количественно, анализируя их поведение до и после операции. Он обнаружил, что объем удаленных им тканей коры влиял на обучение и память, а локализация – нет. Это убедило его, что утрата навыков связана с размером отрезанного участка коры, а не с его местоположением. Лешли не считал, что разрушение конкретной области мозга приведет к потере специфической способности. Он провозгласил два принципа – *действия массы* (активность мозга определяется функционированием этого органа как целого) и *эквипотенциальности* (каждая часть мозга способна выполнять любую задачу, а значит – нет никакой специализации)<sup>[3]</sup>.

В процессе работы над диссертацией Лешли попал под влияние Джона Уотсона, директора лаборатории психологических исследований в Университете Джонса Хопкинса, и они стали хорошими друзьями. Откровенный сторонник бихевиоризма и теории чистой доски, Уотсон в 1930 году произнес свои знаменитые слова: “Дайте мне дюжину здоровых, нормально развитых младенцев и мой собственный особый мир, в котором я буду их растить, и я гарантирую, что, выбрав наугад ребенка, смогу сделать его по собственному усмотрению специалистом любого профиля – врачом, адвокатом, актером, торговцем и даже попрошайкой или вором – вне зависимости от его талантов, увлечений, наклонностей, способностей и расовой принадлежности его предков”<sup>[4]</sup>. Принципы действия массы и эквипотенциальности, выдвинутые Лешли, хорошо вписываются в рамки бихевиоризма.

Новые свидетельства в пользу концепции эквипотенциальности были связаны с именем одного из первых специалистов по нейробиологии развития – Пола Вейсса. Он тоже считал, что различные участки мозга не специализируются во время развития, и придумал известную фразу: “Функция предшествует форме”<sup>[5]</sup>. Она отражала результаты его экспериментов, в которых он пересаживал дополнительную конечность тритону, земноводному из семейства саламандр. Исследователя интересовал вопрос: будут ли нервные волокна прорастать к конечности специфично, или же они начнут прорастать случайным образом, но затем, в процессе использования новой лапы, произойдет приспособление и появятся ее специализированные нейроны? Он обнаружил, что пересаженные конечности тритона получают нужную иннервацию и способны обучаться движениям, которые полностью координированы и синхронизированы с движениями близлежащей конечности. Роджер Сперри, ученик Вейсса, а позже – мой наставник, резюмировал его принцип, получивший широкое признание, как “программу, согласно которой образование синаптических<sup>1</sup> связей совершенно неселективно, диффузно и универсально для нижележащих контактов”<sup>[6]</sup>. Итак, в то время считалось, что в нервной

---

<sup>1</sup> Синапс – место контакта между двумя нейронами или между нейроном и получающей сигнал другой клеткой (мышечной, эпителиальной), где происходит передача нервного импульса. – *Прим. ред.*

системе все сходится, что нет никакой структурированной системы нейронов. Это началось с Лешли, это отстаивали бихевиористы, с этим соглашался величайший зоолог того времени.

## Связи и специфичность нейронов

Однако Дональду Хеббу все это не казалось убедительным. Хотя он и учился вместе с Лешли, но был независим в своих суждениях и начал развивать собственную теорию. Он подозревал, что важно, как работают специфические нейронные связи, и отказался от принципов действия массы и эквипотенциальности. Ранее он уже отверг идеи великого русского физиолога Ивана Петровича Павлова, который считал мозг одной большой рефлекторной дугой. Хебб верил, что поведение определяется деятельностью мозга и что нельзя отделять психологию организма от его биологии. Сегодня это общепринятая идея, но тогда она казалась необычной. В отличие от бихевиористов, считавших, что мозг просто реагирует на стимулы, Хебб понял, что мозг никогда не прекращает работать, даже в отсутствие стимулов. Пользуясь ограниченными данными о функциях мозга, известными в 1940-е годы, он стремился построить модель, которая бы учитывала этот факт.

Хебб, опираясь на результаты собственных исследований, начал с предположений, как это может происходить. В 1949 году вышла его книга под названием “Организация поведения: нейропсихологическая теория” – предвестник гибели строгого бихевиоризма, знаменующий собой возврат к прежним представлениям об исключительной важности взаимосвязи нейронов. Он писал: “Если аксон клетки А находится достаточно близко, чтобы возбудить клетку В, и многократно или постоянно участвует в ее активации, какие-то процессы роста или метаболические изменения происходят в одной или обеих клетках, так что эффективность возбуждения клеткой А клетки В возрастает”<sup>[7]</sup>. В разговорах между собой нейробиологи формулируют это так: “Нейроны, которые возбуждаются вместе, связываются вместе”. Этот принцип лежит в основе предположений Хебба о процессах обучения и памяти. Он предложил называть группу нейронов, которые возбуждаются вместе, *клеточной ассамблеей*. Нейроны ассамблеи могут продолжать активироваться и по окончании запускающего события. Хебб считал, что такое устойчивое сохранение эффекта – разновидность памяти, и полагал, что мышление есть последовательная активация разных ассамблей. Иными словами, Хебб указал на ключевое значение взаимодействия между нейронами. Это и сегодня остается центральной темой исследований нейронауки.

Хебб сосредоточил свое внимание на нейронных сетях и на том, как они работают, чтобы запоминать информацию. Хотя он не занимался вопросом возникновения таких сетей, из его теории следует, что мышление влияет на развитие мозга. К тому же в своих ранних экспериментах на крысах, результаты которых были опубликованы в 1947 году, Хебб показал, что опыт может влиять на обучение<sup>[8]</sup>. Он понимал, что его теория будет пересматриваться по мере появления новых данных, касающихся механизмов работы мозга, но его настойчивость в объединении биологии с психологией наметила путь, который чуть более чем через десять лет привел к появлению новой области нейронауки.

Постепенно стало понятно, что, как только информация усваивается и помещается на хранение, конкретные участки мозга используют ее разными, особыми способами. Тем не менее оставалось неясным, как возникают нейронные сети, – одним словом, как развивается мозг.

Основополагающая работа, послужившая фундаментом для современной нейронауки и подчеркнувшая важность специфичности нейронов, была сделана учеником Пола Вейсса, Роджером Сперри. Его завораживал вопрос о том, как возникают взаимосвязи между нейронами. Он скептически относился к тому, как Вейсс объяснял рост нервов – будто в формировании нейронных сетей главную роль играет функциональная активность. В 1938 году, когда Сперри начал свои исследования, против доктрины о функциональной пластичности нервной системы выступили двое врачей из Медицинской школы Университета Джонса Хопкинса – Фрэнк Форд

и Барнс Вудолл. Они рассказали о своих пациентах, у которых функции не восстанавливались долгие годы, несмотря на регенерацию нервной ткани<sup>[9]</sup>. Сперри решил исследовать функциональную пластичность у крыс, наблюдая, как изменение нервных связей влияет на поведение. Он менял местами нервные связи между мышцами-антагонистами – сгибателями и разгибателями – на задних лапах крысы, что меняло движения голеностопного сустава на прямо противоположные, и смотрел, могут ли животные научиться правильно пользоваться конечностями, как это предсказывала теория функциональной пластичности Вейсса. К своему удивлению, Сперри обнаружил, что крысы никогда не приспосабливались к этим изменениям, даже после многих часов тренировок<sup>[10]</sup>. Например, когда они карабкались по лестнице, их задние лапы поднимались в тот момент, когда должны были опускаться, и наоборот. Он предполагал, что сформируются новые нейронные сети и нормальные функции восстановятся, но оказалось, что моторные нейроны не взаимозаменяемы. Далее он исследовал сенсорную систему, перенося нервы кожи с одной конечности крысы на другую. И снова животные путались в ощущениях: когда ударяли током правую лапу, они поднимали левую; когда на правой лапе возникала ранка, они лизали левую<sup>[11]</sup>. Моторная и сенсорная системы не обладали пластичностью. Увы, Вейсс неудачно выбрал тритона в качестве модели человека в своих экспериментах, ведь регенерация нервной системы наблюдается лишь у низших позвоночных, например у рыб, лягушек и саламандр. Сперри вернулся к идее, что рост нервных волокон и его остановка регулируются хемотаксисом (движением клеток навстречу определенным химическим веществам). Эту гипотезу в начале XX века впервые выдвинул Сантьяго Рамон-и-Кахаль, один из величайших нейробиологов всех времен.

По мнению Сперри, рост нейронных сетей был результатом высокоспецифичного генетического кодирования нейронных контактов. Он проделал десятки хитроумных экспериментов, чтобы это продемонстрировать. В одном из них он хирургическим путем просто перевернул лягушке глаз вверх ногами. После этого, когда ей показывали муху, ее язык двигался в противоположном направлении. И даже спустя несколько месяцев после операции лягушка продолжала искать муху не там, где нужно. Система обладала специализацией: она не была пластичной и не могла адаптироваться. Затем Сперри взял золотую рыбку и удалил у нее часть сетчатки. Когда нервы регенерировали, он наблюдал, где они будут расти в том участке среднего мозга, куда поступают зрительные импульсы, – в оптическом тектуме. Оказалось, нервы росли очень специфично. Если они росли в задней части сетчатки, то прорастали к передней части тектума, и наоборот. Иными словами, нервные волокна тянулись к особому месту, независимо от их начального положения. Сперри заключил следующее: “Когда бы система нервных волокон ни была разъединена, перемещена или просто уничтожена грубым хирургическим вмешательством, ее повторное отрастание всегда приводит к упорядоченному восстановлению функции, даже при условиях, исключающих адаптацию путем повторного обучения”<sup>[12]</sup>. Несколько позднее, в 1960-х годах, когда ученые получили возможность непосредственно наблюдать и фотографировать рост нервов, они увидели, что кончик растущего нерва постоянно выпускает микрофиламенты, или щупальца, которые зондируют все направления и, вытягиваясь и сокращаясь, определяют нужное направление роста нерва<sup>[13]</sup>. Сперри утверждал, что химические факторы обуславливают, какие микрофиламенты будут доминировать и задавать направление роста. Согласно его модели, чтобы образовать нужные связи в мозге, то есть найти путь в конкретное место, отростки нейронов ориентируются за счет химического градиента и выпускают маленькие филоподии (тонкие цитоплазматические выросты из клетки), благодаря которым “смотрят”, куда расти (прошупывают почву).

Эта фундаментальная идея породила представление о специфичности нейронов, до сих пор преобладающее среди нейробиологов. Исходная модель роста нейронов Сперри претерпела изменения, в нее внесли определенные поправки и уточнения, однако в целом она осталась актуальной. Благодаря тому, что рост и взаимодействие нейронов контролируются генети-

чески, принципиальная организация мозга в царстве позвоночных в общих чертах одинакова. Лия Крубитцер, специалист по эволюционной нейробиологии Калифорнийского университета в Дэйвисе, полагает, что, возможно, существует общая генетическая структура для коры мозга всех биологических видов, определяемая одинаковыми генами. Она подытоживает: “Это объяснило бы постоянство общего плана организации и схемы развития [мозга] у всех исследованных млекопитающих, а также существование у некоторых из них рудиментарного сенсорного аппарата и участков коры, которые, по-видимому, не используют отдельную сенсорную систему”<sup>[14]</sup>. Некоторые части мозга отличаются из-за разницы в размерах и форме черепа, но взаимоотношения между частями основываются на одном генеральном плане.

В то время как эксперименты Лешли и Вейсса вроде бы показывали, что различные части мозга не дифференцированы и взаимозаменяемы, Сперри продемонстрировал, что верно обратное: большинство нейронных сетей мозга детерминировано генетически с помощью какого-то химического или физико-химического кодирования определенных путей и контактов. Значит, дифференциация, миграция и ориентация аксонов нервных клеток находятся под генетическим контролем. Но с таким представлением возникала одна проблема – получалось, что ум содержит только врожденные, а не почерпнутые еще и извне идеи. Подобные ограничения предчувствовал Хебб.

## Опыт

В начале 1960-х годов, примерно тогда же, когда Сперри отлаживал свою теорию развития нервной системы, молодой британский биолог Питер Марлер увлеченно занялся певчими птицами. Они учатся пению у своих родителей. Во время полевых ботанических исследований он заметил, что песни певчих птиц одного вида несколько различаются (он назвал это диалектами) в зависимости от местности. Изучая белоголовую воробьиную овсянку, он обнаружил, что молодые особи готовы и способны усвоить ряд звуков лишь в течение короткого чувствительного периода между 30-м и 100-м днем своей жизни. Его интересовало, сможет ли он контролировать то, какую песню они выучат, если будет давать им слушать разные звуки. Изолировав молодых птиц во время их чувствительного периода, он давал им слушать песни либо на их родном диалекте, либо на чужом. Птицы освоили именно тот диалект, который слышали. Таким образом, диалект, который они усваивали, зависел от опыта. Затем Марлер захотел узнать, смогут ли они освоить несколько иное пение других видов воробьиных, если будут слушать его. Он чередовал песню, обычную для белоголовых воробьиных овсянок, и трели другого вида воробьиных, обитающих в той же местности, однако птицы выучились лишь песне своего вида<sup>[15]</sup>. Итак, хотя усвоенная овсянками манера пения (диалект) зависела от того, что они слышали, их возможность осваивать разные звуки была весьма ограниченной. То, что они в принципе могли выучить, определялось предсуществующими ограничениями, связанными с нервной системой. Эти встроенные ограничения представляли проблему для сторонников теории чистой доски, но не удивляли Нильса Ерне.

## Отбор или обучение

В 1950-х годах Нильс Эрне, знаменитый швейцарский иммунолог, потряс основы мира иммунологии. Тогда ученые почти единодушно считали, что процесс формирования антител эквивалентен обучению, при котором антиген играет роль инструктора. Антигены обычно представляют собой протеины или полисахариды, находящиеся на поверхности клетки. Этими клетками могут быть бактерии, вирусы, паразиты, пыльца, яичный белок, белок с пересаженных органов или тканей или с поверхности клеток крови, попавших в организм в результате ее переливания. Эрне же предположил, что происходит нечто иное. Ранее считалось, что специфические антитела формируются в ответ на появление антигена, – по мнению Эрне, однако, тело с рождения снабжено всеми различными типами антител, которые ему когда-либо могут понадобиться.

Антигены – это просто молекулы, которые одно из этих врожденных антител распознает или выбирает. Не происходит никакого обучения, просто отбор. Иммунная система исходно обладает такой встроенной сложностью, а не становится сложнее с течением времени. Идеи Эрне стали основой того, что сегодня называют гуморальным иммунным ответом, и клонально-селективной теории (клонирования, то есть увеличения числа, белых кровяных клеток – лимфоцитов, – несущих на своей поверхности рецепторы, которые связывают вторгающиеся в организм антигены). Большинство антител никогда не встретится с соответствующим чужеродным антигеном, но те, которые встречаются, активируются и интенсивно клонируют себя, чтобы связать и инактивировать вторгшегося врага. Эрне на этом не остановился. Позже он предположил, что если такой процесс отбора происходит в иммунной системе, то, вероятнее всего, так же работают и другие системы, в том числе мозг. В своей статье 1967 года “Антитела и научение: отбор или обучение”<sup>[16]</sup> Эрне говорил о том, что важно рассматривать работу мозга с точки зрения процессов отбора, а не обучения: как иммунная система не есть недифференцированная система, способная производить антитела любого типа, так и мозг не есть недифференцированная масса, которая может обучаться чему угодно. Он сделал удивительное предположение: обучение на самом деле может быть процессом целенаправленного отбора предсуществующих способностей, которыми мы обладаем от рождения – чтобы применить их в ответ на конкретные задачи, встающие перед нами в определенные моменты времени. Иными словами, эти способности представляют собой генетически обусловленные нейронные сети, предназначенные для специфических типов обучения. Часто это иллюстрируют таким примером: нам легко научиться бояться змей, но трудно научиться испытывать страх при виде цветов. У нас есть встроенный шаблон, вызывающий реакцию страха, когда мы замечаем определенные виды движения, скажем, скольжение в траве, но нет подобной врожденной реакции на цветы. Тут, как и в случае иммунной системы, сложность уже встроена в мозг, как и специфичность, о которой мы говорили выше на примере пения белоголовой воробьиной овсянки. Самое важное, что происходит отбор именно предсуществующих способностей. Однако это влечет за собой ограничения: если какая-то способность не дана заранее, ее просто не существует.

Знаменитый пример отбора в действии из мира популяционной биологии наблюдали в естественной лаборатории Дарвина – на Галапагосских островах. В 1977 году из-за засухи погибло большинство кустарников, дающих семена. В результате резко выросла смертность взрослых особей средних земляных вьюрков. У этих птиц клювы были разных размеров. Пищу земляных вьюрков составляют семена, и потому клюв для них – средство существования. Вьюрки с мелкими клювами не могли расколоть жесткие плоды якорцев (растений из рода *Tribulus*) и твердые семена, которых оставалось немало и после засухи, а вьюрки с более крупными клювами – могли. Скудные запасы семян помягче быстро исчерпались, так что остались

лишь твердые и большие семена, которыми могли питаться только птицы с более крупными клювами. Популяция вьюрков с мелкими клювами погибла, а с крупными – пережила бедствие. Это был отбор из предсуществовавших возможностей. В следующем году выжившие птицы дали потомство – и птенцы вылупились крупнее и с более крупными клювами<sup>[17]</sup>.

Мозг в современном представлении – не тот, каким его описали Лешли, Уотсон и Вейсс. Они считали его недифференцированной массой, готовой к обучению. Любой мозг, по их мнению, можно научить чему угодно: наслаждаться как благоуханием розы, так и запахом тухлых яиц, или бояться цветов наравне со змеями. Не знаю, как вам, но “аромат” тухлых яиц, доносящийся из кухни, вряд ли понравится моим гостям, сколько бы раз они ни приходили ко мне на ужин. Сперри оспорил эту концепцию. Он утверждал, что мозг устроен очень специфическим образом, обусловленным генетически, и мы рождаемся в основном предварительно оснащенными. Хотя такая интерпретация и объясняла большинство фактов, в эту модель не вписывались некоторые данные новых исследований. Например, она не полностью объясняла результаты наблюдений Марлера за певчими птицами.

## Процесс, зависящий от активности

Как обычно и бывает в нейронауке, оказалось, что это еще не конец истории. Вунь Синь, Курт Касс и их коллеги, изучая рост нейронов в оптическом тектуме мозга лягушки, обнаружили, что стимуляция светом позволяет увеличить скорость роста и количество ветвящихся выростов – дендритных шипиков – на кончике нервной клетки. Дендритные шипики проводят электрические импульсы от других нервных клеток, совокупность шипиков одного нейрона называют дендритным деревом. Таким образом, усиленная визуальная активность лягушки способствовала росту ее нервов<sup>[18]</sup>. В данном случае на рост влияет не только генетически обусловленный хемотаксис, как предполагал Сперри, – активность самого нейрона, его опыт, тоже стимулирует его рост и влияет на взаимосвязи с другими клетками. Это называют *процессом, зависящим от активности*.

Как ни досадно, результаты недавних исследований подтвердили правоту моей мамы: мне следовало больше заниматься на пианино. На самом деле совершенство любого моторного навыка зависит от времени, потраченного на его отработку. Практика не только меняет эффективность синапсов<sup>[19]</sup> – недавно было показано<sup>[20]</sup>, что синаптические связи у мыши быстро реагируют на обучение моторным навыкам и устойчиво меняются. Когда мышь одного месяца от роду обучали протягивать переднюю лапу, у нее быстро (в течение часа!) формировались дендритные шипики. После дрессировки суммарная плотность шипиков возвращалась к исходному уровню за счет ликвидации некоторых старых шипиков и стабилизации новых, сформировавшихся во время обучения. Те же исследователи показали, что различные моторные навыки кодируются различными наборами синапсов. Хорошая новость заключается в том, что мне (или, по крайней мере, мышке) еще не поздно внять совету матери. При освоении новой задачи взрослыми у них также формируются новые дендритные шипики. Плохая же новость в том, что мне все равно придется много практиковаться. Похоже, усвоение двигательных навыков – результат настоящей реорганизации синапсов, а стабилизировавшиеся в итоге нейронные связи, вероятно, становятся основой долговременной моторной памяти.

Ассоциативное обучение – другой пример того, как опыт может влиять на нейронные связи. Если вы видели фильм “Фаворит”, то, должно быть, помните, как коня по кличке Сухарь переучивали трогаться с места – начинать бежать при звуке колокола. Когда звонил колокол, коня сильно ударяли стеклом по боку. Это вызывало у него реакцию бегства, так что он начинал двигаться. После нескольких повторений он срывался с места уже от одного только звука колокола. В конце концов он победил прежнего чемпиона Восточного побережья – скакуна по кличке Адмирал Войны.

Итак, хотя в целом связи нейронных сетей контролируются генетически, внешние стимулы окружающей среды и обучение также влияют на рост нейронов и их взаимосвязи. Согласно современным представлениям о мозге, его крупномасштабный план обусловлен генетически, а вот специфические связи на локальном уровне зависят от активности, а также от эпигенетических факторов и опыта. Важны как наследственность, так и среда, что подтвердит вам любой наблюдательный родитель или хозяин домашних животных.

### *Предсуществующая сложность*

Психология развития человека изобилует примерами, показывающими, что маленькие дети интуитивно знают кое-что из области физики, биологии и психологии. На протяжении многих лет Элизабет Спелк в Гарвардском университете и Рене Байяржон в Иллинойском университете исследовали, что малыши знают о физике. Взрослые принимают такое знание как само собой разумеющееся и редко задаются вопросом о его происхождении. Скажем, кофейная

чашка на столе при обычных обстоятельствах не вызовет у вас особого интереса. Однако если она вдруг поднимется к потолку, то всерьез привлечет ваше внимание – вы не сможете оторвать от нее глаз. Ведь получится, что она нарушает закон притяжения! Вы молчаливо полагаете, что предметы подчиняются ряду правил, а если они перестают это делать – тарашитесь на них. И вы бы вперили взгляд в эту чашку, даже если бы никогда не изучали закон притяжения в школе. То же самое относится и к маленькому ребенку. Если его бутылочка внезапно взлетит к потолку, она завладеет его вниманием.

Итак, маленькие дети дольше смотрят на предметы, которые ведут себя странно с точки зрения некоего набора правил. Исследователи захотели выяснить, что же это за правила для ребенка. Байяржон помещала мячик перед младенцами трех с половиной месяцев от роду, а затем закрывала его экраном. Потом она незаметно убирала игрушку. Когда экран отодвигали, а мячика за ним не оказывалось, малыши поражались. Значит, они, по-видимому, уже кое-что усвоили из законов физики: один твердый предмет не может пройти сквозь другой. К трем с половиной месяцам младенцы уже считают, что предметы не изменяются и уж точно не исчезают, скрываясь из виду<sup>[21]</sup>. Как показали другие эксперименты, маленькие дети ожидают, что предмет сохранит свою целостность, а не распадется на части, если его за что-то дернуть. Они также рассчитывают, что объект, который исчез за экраном, сохранит свою форму, когда появится снова: мячик не должен превратиться в плюшевого мишку. Они полагают, что предметы движутся вдоль непрерывных траекторий, а не скачут через разрывы в пространстве, и догадываются о форме частично спрятанного предмета по его видимой части: полусфера, когда ее полностью откроют, должна оказаться мячиком, у которого не должно быть, например, ног. Малыши также считают, что предметы не двигаются сами по себе, пока что-то их не коснется, и что они твердые и не могут проходить сквозь другие предметы<sup>[22]</sup>. Это знание, которое определяется генетически и с которым мы рождаемся. Но почему мы вправе утверждать, что это не выученное знание? По той причине, что младенцы по всему миру обладают одинаковыми знаниями в одном и том же возрасте независимо от того, в какой среде живут.

Предсуществующая сложность, вероятно, встроена также и в зрительную систему человека. На уровне восприятия у нас работает множество встроенных автоматических процессов. Скажем, мы далеко не всегда видим то, что в действительности находится у нас перед глазами. Давно известно, что два абсолютно одинаковых круга кажутся разными по яркости, если у каждого из них свой фон. Серый круг на темном фоне кажется нам более светлым, чем точно такая же фигура на фоне посветлее.



Освещенность объекта, строго говоря, определяется падающим на него светом, тем, который отражается от его поверхности, и прозрачностью среды (например, ее уменьшает туман или фильтр, через который мы смотрим) между наблюдателем и объектом. Световая величина, непосредственно воспринимаемая глазом, называется яркостью. Однако соответствие между освещенностью объекта и его воспринимаемой яркостью не такое простое. Если меняется хотя бы один из трех параметров, относительная интенсивность света, достигающего глаза, может как измениться, так и остаться прежней в зависимости от сочетанного влияния данных параметров. Приведу пример. Окиньте взглядом четыре стены комнаты, в которой вы находитесь. Даже если все они одного цвета, одна стена может казаться ярче другой в зависимости от того, как обе освещены. Если стены белые, то одна из них может казаться ярко-белой, другая светло-серой, а третья темно-серой. Войдите в эту же комнату позже, при другом освещении, – вероятно, изменится и яркость стен. Таким образом, между источником визуальных стимулов и теми элементами, комбинация которых порождает эти стимулы, нет четкой взаимосвязи. Зрительная система не способна догадаться, как эти факторы сложились вместе и создали уровень яркости определенного предмета, свет от которого достигает сетчатки.

Как такая система возникла? Исследователи Дейл Первис, Бью Лотто и их коллеги из Университета Дьюка показали, что поведение эффективно, только когда реакции соответствуют источнику стимула, а не измеримым параметрам самого стимула. А это достигается только благодаря прошлому опыту – как индивидуальному, так и эволюционному<sup>[23]</sup>. Например, умение оценивать яркость зрелого плода, висящего на фоне листвы, давало больше преимущества, чем способность различать конкретные оптические параметры. Иными словами, ученые предположили, что визуальная цепочка и итоговое восприятие были отобраны такими, какие они есть, в силу того, что зрительно-опосредованное поведение в прошлом оказывалось эффективным. “Если эта идея справедлива, значит, в тех случаях, когда стимул соответствует одинаково отражающим поверхностям, расположенным под одним источником света, яркость объектов будет казаться одинаковой. Однако, если стимул согласуется с прошлым опытом зрительной системы, имеющим отношение к объектам разной отражательной способности при разном освещении, яркость объектов будет казаться неодинаковой”<sup>[24]</sup>. Суть в том, что мы этого не осознаем. Наша система зрительного восприятия развивалась в процессе отбора, чтобы иметь такие сложные автоматические механизмы уже встроенными.

## Путь к *Homo sapiens*

Палеоантропологи установили, что у современного человека и у шимпанзе был общий предок, который жил 5-7 миллионов лет назад. По какой-то причине (часто это связывают с переменной климата, которая повлекла за собой изменение пищевых ресурсов) наша общая с шимпанзе линия разделилась. После нескольких фальстартов и неудачных ответвлений одна линия в конце концов привела к шимпанзе (*Pan troglodytes*), а другая – к *Homo sapiens*. Хотя мы, представители *Homo sapiens*, – единственные из гоминид этой линии, кто остался в живых, до нас их было много. Ископаемые останки этих гоминид показывают нам, как мы появились в процессе эволюции.

### *Наш первый двуногий предок*

Одна найденная окаменелость гоминид вызвала изрядный ажиотаж. В 1974 году Дональд Йохансон взбудоражил мир антропологов: обнаружил первые, возрастом около 4 миллионов лет, ископаемые останки существа, которое стало известным как *Australopithecus afarensis*. Было найдено около 40 % скелета, и фрагменты тазовой кости пролили свет на пол существа – это была женщина, ныне знаменитая Люси. Ученых потрясло не само обнаружение ее останков, а то, что она оказалась в полной мере двуногим существом, однако с достаточно маленьким мозгом. Раньше принято было думать, что в процессе эволюции наши предки сначала обзавелись большим мозгом, а его великие мысли привели их к прямохождению. Спустя несколько лет, в 1980 году, Мэри Лики нашла окаменелые следы стоп *Australopithecus afarensis*, датированные примерно 3,5 миллиона лет назад, которые по форме и особенностям распределения веса почти идентичны нашим. Это подтвердило новую гипотезу, согласно которой полноценное хождение на двух ногах возникло до того, как развился большой мозг. Не так давно Тим Уайт и его коллеги сделали еще одно потрясающее открытие. Они нашли останки, включая кости стопы, *Ardipithecus ramidus*, жившего 4,4 миллиона лет назад<sup>[25]</sup>. А ведь с каждой новой находкой ископаемых останков теоретикам приходится начинать все с чистого листа. Тим Уайт и члены его международной команды предполагают, что наш последний общий с шимпанзе предок меньше походил на эту обезьяну, чем прежде считалось, и что шимпанзе претерпели куда больше эволюционных изменений после расхождения линий, чем думали раньше.

Один из теоретиков, психолог Леон Фестингер, интересовался происхождением современных людей и задавался вопросом, кого из наших предков можно назвать первым человеком. Он указал на то, что прямохождение должно было стать “почти катастрофическим недостатком”<sup>[26]</sup>, поскольку сильно снижало скорость передвижения как при беге, так и при лазании. Кроме того, четвероногое животное способно неплохо передвигаться и на трех лапах, если одна повреждена, а двуногое на одной – нет. Несомненно, этот недостаток сделал прямоходящих более уязвимыми для хищников.

Становление прямохождения принесло еще одно неудобство: родовой канал стал уже. Более широкий таз сделал бы хождение на двух ногах невозможным с механической точки зрения. В период эмбрионального развития череп приматов формируется не полностью, составляющие его кости окончательно срастаются уже после рождения. Это делает череп достаточно мягким, чтобы пройти по родовому каналу, а также позволяет мозгу расти после рождения. При рождении человеческого младенца его мозг примерно в три раза больше мозга новорожденного шимпанзе, но зато менее развит. По сравнению с другими приматами мы рождаемся как бы преждевременно – на один год раньше. И это тоже недостаток: человеческие младенцы беспомощны и требуют заботы в течение более продолжительного времени. После рождения развитие мозга у человека и у шимпанзе существенно различается. Мозг ребенка продолжает

расти до подросткового возраста включительно и становится в три раза больше, всесторонне совершенствуясь и испытывая различные воздействия в этот пластичный период. В результате его масса достигает 1,3 килограмма. А мозг детеныша шимпанзе практически полностью развит при рождении и прекращает расти, достигнув массы в 400 граммов.

Прямохождение должно было иметь определенное преимущество, которое позволило нашим предкам выжить и успешно размножиться. По мнению Фестингера, преимущество гоминид заключалось не в том, что они обрели две конечности, которые могли использовать не для передвижения, а в иных целях, а в том, что у них появился мозг, достаточно изобретательный, чтобы придумать, какие же цели это могут быть: “Руки и кисти не были (как и сейчас) такими специализированными конечностями, как, например, ноги человека. Было изобретено безграничное разнообразие вариантов использования рук и кистей – и слово ‘изобретено’ тут ключевое”. Оуэн Лавджой, размышляя об останках *Ardipithecus ramidus*, предполагает, что эти конечности позволяли самцам приносить самкам еду в обмен на секс, а это стало основой для целого комплекса физиологических, поведенческих и социальных изменений<sup>[27]</sup>. Фестингер считал, что изобретательность и подражание обусловили эволюцию мозга: “Всем людям, жившим 2,5 миллиона лет назад, не нужно было придумывать процесс изготовления орудий с острыми краями. <...> Достаточно было одному человеку или небольшой группе изобрести нечто новое – и все остальные могли подражать и учиться, как они и поступали”. Большинство вещей, что мы, люди, делаем, появились благодаря изящной идее одного человека, примеру которого стали следовать. Кто приготовил первую чашку кофе из зерен, которые выглядят достаточно непримечательно? Кто-то с отличающимся от моего мозгом. Но, к счастью, мне не пришлось изобретать велосипед – я мог воспользоваться чужой мудростью. Изобретательность и подражание вездесущи в человеческом мире, но чрезвычайно редки среди наших друзей-животных.

Снизившаяся скорость перемещения и возросшая опасность стать жертвой хищника, хотя и кажутся недостатками, могли подстегнуть многие когнитивные изменения. Новый изобретательный мозг должен был прежде всего решить проблему защиты от хищников (вспомним поговорку “Нужда – мать изобретения”). Хищника можно перехитрить двумя способами. Во-первых, оказаться больше и быстрее его – непригодный вариант для гоминид. Во-вторых, жить большими группами, не только повышая выживаемость и безопасность, но также делая охоту и собирательство более эффективными. На протяжении многих лет высказывалась масса идей о том, какие силы обеспечивали неустанное увеличение объема мозга гоминид. Сейчас, похоже, все они свелись к двум факторам, управляющим процессами естественного и полового отбора: пищевому рациону, который давал лишние калории, необходимые для того, чтобы снабжать метаболически затратный большой мозг, и социальным вызовам, возникающим из-за необходимости жить большими группами ради безопасности.

Объясняются ли наши отличия от других животных тем, что наш мозг больше?

### **Холлоуэй бросает вызов идее большого мозга**

Еще Чарльз Дарвин говорил о том, что способности человека объясняются просто большим объемом мозга: “Как бы ни было велико умственное различие между человеком и высшими животными, оно только количественное, а не качественное”<sup>[28]</sup>. Его сторонник и защитник нейроанатом Томас Генри Хаксли также отрицал, что мозг человека обладает какими-либо уникальными свойствами, кроме размера<sup>[29]</sup>. Идея, согласно которой единственное различие мозга человека и приматов, наших ближайших родственников, – размер, не вызвала сомнений до 1960-х годов. А затем Ральф Холлоуэй, ныне профессор антропологии Колумбийского университета, бросил вызов этому представлению. Он предположил, что эволюционные изменения когнитивных способностей стали результатом реорганизации мозга, а не просто изменения его размера<sup>[30]</sup>. “Я пришел к такому выводу, – пишет он, – еще до семи-

нара в 1964 году, на котором <...> я показал, что в некоторых случаях микроцефалии у людей, когда размеры мозга показались бы до смешного малыыми даже горилле, человек тем не менее способен говорить. По моему мнению, это доказывало, что мозг таких пациентов организован как-то по-другому – отлично от человекообразных обезьян”<sup>[31]</sup>. Наконец, в 1999 году Тодд Пройсс и его коллеги сумели подтвердить теорию Холлоуэя – выявили различия в организации мозга человека и обезьян на микроскопическом уровне<sup>[32]</sup>.

Далее идеи Холлоуэя поддержали эволюционные биологи Виллем де Винтер и Чарльз Окснард. Они предположили, что размер части мозга зависит от ее функциональных отношений с другими частями. Проведя мультивариантный анализ (при котором рассматривается одновременно более одной переменной) соотношений между размерами частей мозга у 363 биологических видов, они обнаружили, что группы видов с близкими соотношениями связаны друг с другом похожим образом жизни (передвижения, добыча продовольствия и пищевой рацион), а не филогенетическими (эволюционными) отношениями. Так, например, насекомоядные летучие мыши Нового Света оказались ближе к плотоядным летучим мышам Старого Света, чем к филогенетически более близким родственникам – плодоядным летучим мышам Нового Света. Анализ де Винтера и Окснарда выявил, что виды с похожим образом жизни имеют сходную организацию мозга, то есть что конвергенция и параллели в строении мозга, вероятнее всего, объясняются конвергенцией и параллелями в отношении *образа жизни*, вне зависимости от филогенетического родства<sup>[33]</sup>. Люди, составившие самостоятельную группу, оказались единственным видом с “прямоходящим” образом жизни из 363 изученных. Исследователи обнаружили, что среднеквадратичное отклонение<sup>2</sup>, характеризующее различия в организации мозга человека и шимпанзе, равно 22 (а это очень большое значение). Окснард сделал следующий вывод: “Природа организации человеческого мозга сильно отличается от таковой у шимпанзе, а вот организация мозга последних еле отличается от других человекообразных обезьян и слабо – даже от обезьян Старого Света”<sup>[34]</sup>.

Неудивительно, что Дарвин постулировал только количественную разницу. Хотя каждый биологический вид уникален, все они состоят из одних и тех же молекулярных и клеточных “кирпичиков” и возникли под действием одинаковых принципов естественного отбора. Много, что ранее считалось присущим исключительно человеку, как оказалось, существовало и до него. И все же Паско Ракич, нейроанатом из Йельского университета, в качестве предостережения, которое мы услышим еще и от других ученых, говорит: “Все мы настолько увлеклись необычайными сходствами в организации коры головного мозга внутри одного биологического вида и между разными видами, что забываем – отличия там, где следует искать эволюционный прогресс, который привел к взлету наших когнитивных способностей”<sup>[35]</sup>.

Споры о том, чем человеческий мозг отличается от мозга других животных (да и вообще о различиях мозга разных животных), количественный ли характер носят эти различия или качественный, продолжаются, но доказательства, что это действительно качественные различия, различия по сути, гораздо более убедительные. Великий психолог Дэвид Примак, много лет пытавшийся обучить шимпанзе языку, согласен с Ракичем: “Демонстрация сходства между способностями животных и человека должна автоматически вызывать следующий вопрос: а в чем отличия? Это предотвратит ситуацию, когда сходство ошибочно принимают за равенство”<sup>[36]</sup>.

Одно из самых важных отличий, которое Примак подчеркивает, состоит в том, что способности других животных не распространяются: у каждого вида есть крайне узкий набор способностей, которые адаптивны – ограничены одной целью. Так, кустарниковые сойки плани-

<sup>2</sup> Среднеквадратичное отклонение характеризует разброс значений какого-либо параметра вокруг его среднего значения. Если среднеквадратичное отклонение велико, значит, вариабельность высокая, то есть значения сильно расходятся со средним. При нормальном распределении практически все значения исследуемого параметра попадают в интервал плюс-минус три среднеквадратичных отклонения относительно среднего значения. – *Здесь и далее, если не указано иное, прим. автора.*

руют, чем будут питаться, – и только: в природе они не обучают других и не делают орудий. Врановые в естественных условиях делают орудия, но лишь для добычи пищи, при этом они не строят планов и не обучают других особей. Сурикаты не планируют и не изготавливают орудий в природных условиях, зато обучают свой молодняк единственному навыку – как есть ядовитых скорпионов, чтобы не оказаться ужаленным. Ни один вид не может взять и адаптировать свой навык под другие нужды. Сурикат учит свое потомство лишь тому, как питаться скорпионами без вреда для себя. Что же касается людей, то они обучают молодое поколение всему, причем усвоенные знания обычно распространяются и на другие навыки. Словом, преподавание и обучение у человека обобщены.

Как и в случае других животных, ключевые составляющие человеческих способностей тоже развивались как специфические адаптации: люди обладают не имеющим себе равных количеством отточенных способностей, появившихся таким путем. Их сочетание привело к возникновению дополнительных способностей для решения общих задач, что повлекло за собой появление уже чисто человеческих универсальных способностей. В результате произошло взрывоподобное развитие способностей и реализация условий человеческого существования. Современные нейроанатомы убеждены, что когда наши предки карабкались по эволюционной лестнице от приматов к человеку, то не просто прибавлялись дополнительные навыки, как некогда предполагали<sup>3</sup>, но весь мозг перестраивался вдоль и поперек. Мы все еще не ответили на один щекотливый вопрос: что же именно в мозге породило изумительную человеческую одаренность, как это произошло и как это использовать? К счастью для сегодняшних аспирантов, эта загадка живет и здравствует, но некоторые тайны были раскрыты, что мы сейчас и обсудим.

---

<sup>3</sup> Так называемую модель триединого мозга предложил Пол Маклин. Согласно его гипотезе, мозг имеет структуру, обусловленную его эволюционным развитием, и состоит из трех слоев. Самый древний, рептильный, покрыт сверху вторым слоем – лимбической системой. А опоясывает эти два слоя третий, самый новый, – неокортекс. Идея Маклина по своей сути состоит в том, что по мере нашего развития новые слои мозга добавлялись к старым, как прицепляют дополнительный вагон к поезду. Я называю эту модель эволюции теорией поезда.

## Физические особенности человеческого мозга

Все эти нападки на теорию большого мозга заставили исследователей вооружиться микроскопами и начать использовать более совершенные технологии подсчета клеток и их окрашивания, выявляющего детали строения. И сегодня непреодолимая трещина в основании теории большого мозга на наших глазах становится все больше.

### Больше – не значит лучше

Несколько проблем омрачили теорию большого мозга еще до того, как в 1999 году обнаружили особенности человеческого мозга на микроскопическом уровне. Неандертальцы имели мозг больше человеческого, но никогда не демонстрировали такой размах способностей, как мы. На протяжении веков размер мозга *Homo sapiens* уменьшался. Я заинтересовался этим, когда исследовал пациентов, которые страдали фармакорезистентной (трудно излечимой) эпилепсией и перенесли хирургическую операцию по разделению полушарий (расщеплению) головного мозга. Чтобы предотвратить распространение электрических импульсов, при такой операции перерезают мозолистое тело – большой пучок нервных волокон, соединяющий два полушария. Изолированное левое полушарие перестает получать сигналы от правого (по существу, теряет половину объема мозга), однако остается столь же разумным, как и весь мозг целиком. Если бы количество мозговой ткани было так важно, потеря половины мозга отражалась бы на способности решать задачи и строить гипотезы, однако это не так.

Кампания по отстаиванию важности количества нейронов столкнулась еще с одной проблемой. Марк Твен сказал: “Слухи о моей смерти сильно преувеличены”, – то же касается и утверждений, будто мозг человека больше, чем он был бы у обезьяны наших размеров. В 2009 году, используя новую методику подсчета нейронов, Фредерико Азеведо с коллегами<sup>[37]</sup> обнаружил, что в пересчете на количество нейрональных и других клеток мозг человека – это пропорционально увеличенный мозг приматов. Он именно такой, какого следовало бы ожидать у примата наших размеров, и не содержит нейронов больше<sup>4</sup>. Исследователи также выяснили, что соотношение между количеством нейронов и других клеток в структурах человеческого мозга близко к значениям, подсчитанным для других приматов, а общее число клеток соответствует ожидаемому для приматов, имеющих человеческие размеры. Таким образом, ученые заключили, что не люди выделяются среди приматов мозгом большим, чем соответствует размерам их тела, а что, к стыду орангутанов и горилл, они выделяются среди приматов телом большим, чем соответствует размерам их мозга.

Головной мозг человека содержит в среднем 86 миллиардов нейронов, причем 69 миллиардов из них находятся в мозжечке, той небольшой структуре в задней части мозга, которая регулирует двигательную активность. Вся кора, то есть та область, которая, как мы думаем, ответственна за человеческое мышление и культуру, содержит лишь 17 миллиардов нейронов, а остальные части мозга – немного менее одного миллиарда. Лобные доли и в их составе префронтальная кора – часть человеческого мозга, связанная с памятью и планированием, когнитивной гибкостью, абстрактным мышлением, инициированием уместного поведения и подавлением неадекватного, усвоением правил и извлечением необходимой информации, поступающей от органов чувств, – содержат намного меньше нейронов, чем зрительные области, другие сенсорные зоны и моторные области коры. Чего больше в лобных долях по

---

<sup>4</sup> Исследователи определили, что головной мозг взрослого мужчины в среднем состоит из 86 миллиардов нейронов и 85 миллиардов других клеток и что кора мозга, хотя и составляет 82 % его массы, содержит лишь 19 % его нейронов. Большинство нейронов, 72 %, находятся в мозжечке, который составляет 10 % массы мозга.

сравнению с остальными структурами мозга, так это древовидных разветвлений отростков нейронов (дендритов), благодаря чему нервные клетки могут образовывать больше связей.

Итак, анатомам, изучающим мозг, облегчили работу. Если количество нейронов у человека просто пропорционально увеличено по сравнению с шимпанзе, значит, отличия надо искать во взаимосвязях нейронов или в самих клетках.

## Изменения связности

Когда увеличивается объем мозга, растет количество нейронов, их связей, а также пространство между клетками. Кора головного мозга у человека по объему в 2,75 раза больше, чем у шимпанзе, но содержит лишь в 1,25 раза больше нейронов<sup>[38]</sup>. Получается, изрядная доля возросшей массы человеческого мозга объясняется увеличением пространства между телами клеток и объема того, чем оно заполнено. А заполнено это пространство, называемое нейропилем, всем тем, что создает связи: аксонами, дендритами и синапсами. В целом, чем оно больше, тем лучше взаимосвязи между клетками<sup>[39]</sup>, так как больше нейронов соединяется с большим числом других нейронов.

Однако, если бы по мере увеличения объема мозга каждый нейрон связывался со всеми другими, увеличение числа связей и длины соединений, тянущихся по этому растущему объему, снизило бы скорость передачи сигналов – и общее преимущество от увеличения размера мозга стало бы ничтожным<sup>[40]</sup>. На самом деле не каждый нейрон соединяется со всеми остальными, но падает относительная<sup>5</sup> связность. Когда абсолютный размер мозга и общее количество нейронов растут, в какой-то момент относительная связность начинает уменьшаться, а из-за этого вслед за топологией соединений меняется и внутренняя структура мозга. Когда требуется добавить новую функцию, это снижение относительной связности заставляет мозг специализироваться. Создаются небольшие локальные сети, состоящие из соединенных между собой групп нейронов. Такие сети выполняют специфические задания по обработке данных и работают автоматически. Результат их работы передается другой части мозга, но не вычисления, которые дали этот результат. Вернемся к примеру визуального восприятия: результат обработки информации – суждение о том, выглядит ли серый круг светлее или темнее, – передается, но сам ход обработки информации, который привел к такому выводу, – нет.

В ходе исследований последних сорока лет выяснилось, что мозг человека содержит миллиарды нейронов, собранных в так называемые модули – локальные, специализированные сети для выполнения конкретных функций. Марк Райхл, Стив Петерсен и Майкл Познер использовали методы визуализации, чтобы показать, что в человеческом мозге параллельно работают различные сети и одновременно обрабатывают разную входящую информацию. Оказывается, когда мы слышим слова, реагирует одна область мозга, когда видим их – другая, а когда произносим – третья, причем все три могут быть активны одновременно<sup>[41]</sup>. Джеймс Ринго, тот, кто осознал, что большему мозгу необходимо иметь сниженную относительную связность и в результате – более специализированные сети, также говорил, что это объясняет проблему с крысами Карла Лешли и их эквипотенциальным мозгом. Просто маленький мозг крысы не сформировал специализированных сетей, которые характерны для большего мозга. А теперь приведем замечание Годда Пройсса: «Открытие разнообразия кортикальных модулей поставило всех в крайне неловкое положение. Для нейробиологов существование такого разнообразия означает, что широкие обобщения об организации коры, сделанные при изучении

---

<sup>5</sup> Понятие относительной связности противопоставляется понятию абсолютной. Сохранение первой предполагает, что каждый новый нейрон оказывается напрямую связан со всеми остальными, при этом общее число аксонов растет экспоненциально с увеличением количества нейронов. А при сохранении абсолютной связности число аксонов на один нейрон остается неизменным, то есть общее количество аксонов растет линейно. Более подробно об эволюционных принципах увеличения размера мозга рассказывается на странице 101. – *Прим. ред.*

некоторых ‘модельных’ видов, в частности крысы и макака-резуса, выстроены на ненадежных основаниях”<sup>[42]</sup>.

В процессе эволюции млекопитающих, по мере роста объема мозга, размер самой молодой с эволюционной точки зрения части, неокортекса, увеличивался непропорционально. Шестислойный неокортекс образован нейронами (“маленькими серыми клеточками”, как называл их месье Пуаро) и покрывает кору подобно большой складчатой салфетке. Он отвечает за сенсорное восприятие, генерацию моторных команд, пространственное ориентирование, сознательное и абстрактное мышление, речь и воображение. Увеличение объема неокортекса регулируется сроками нейрогенеза (образования нервной ткани), которые, разумеется, находятся под контролем ДНК. Чем продолжительнее период развития, тем больше происходит клеточных делений, что приводит к образованию большего мозга. Самые наружные слои, супрагранулярные (слои II и III), созревают в последнюю очередь<sup>[43]</sup> и связываются преимущественно с другими участками коры<sup>[44]</sup>. Джефф Хатслер из нашей лаборатории сделал важное наблюдение: по сравнению с другими млекопитающими для приматов характерно более значительное пропорциональное увеличение нейронов из слоев II/III. Эти слои составляют 46 % толщины коры у приматов, 36 % – у плотоядных животных и 19 % – у грызунов<sup>[45]</sup>. Они толще, потому что в них находится плотная сеть контактов между кортикальными структурами. Многие исследователи считают, что эти слои и их связи играют важную роль в осуществлении высших когнитивных функций, связывая моторные, сенсорные и ассоциативные зоны коры. То, что у разных видов животных толщина этих слоев неодинакова, вероятно, подразумевает и неодинаковую степень связности<sup>[46]</sup>, которая может обуславливать когнитивные и поведенческие различия видов<sup>[47]</sup>. Увеличение размера неокортекса позволило бы перестроить локальные кортикальные сети и повысить число связей.

Тогда как мозг приматов увеличился в размере, мозолистое тело – большой пучок нервных волокон, передающий информацию между двумя полушариями, – пропорционально уменьшилось<sup>[48]</sup>. Таким образом, увеличение объема мозга связано с ухудшением межполушарного взаимодействия. По мере того как наши предки приближались к человеку, полушария становились менее сцепленными. Между тем число взаимосвязей нейронов и количество локальных нейронных сетей внутри каждого полушария росли, так что процесс обработки информации обретал более локальный характер. Хотя многие сети дублируются и располагаются симметрично друг другу в обеих половинах мозга (например, сети правого мозга в основном контролируют движения левой стороны тела, а сети левого мозга – правую сторону тела), существует много таких сетей, которые есть лишь в одном из полушарий. Латерализованные (то есть присутствующие только в одном из двух полушарий) локальные сети очень распространены в человеческом мозге. В последние годы мы изучали нейроанатомические асимметрии у многих видов животных, но, похоже, у человека латерализованных сетей гораздо больше<sup>[49]</sup>.

Какая-то основа для человеческой латерализации должна была уже присутствовать у нашего последнего общего с шимпанзе предка. Так, мои коллеги Чарльз Гамильтон и Бетти Вермеер изучали способность макаков распознавать лица и обнаружили правополушарное доминирование в считывании обезьяньих лиц<sup>[50]</sup>, точно как у людей – в считывании человеческих. Другие исследователи обратили внимание на то, что и у человека, и у шимпанзе гиппокампы (парные структуры, регулирующие обучение, консолидацию пространственной памяти, настроение, аппетит и сон) асимметричны: правый больше левого<sup>[51]</sup>. Линия гоминид между тем претерпела дальнейшие изменения латерализации. При поиске асимметрий между разными приматами и человеком больше всего внимания, безусловно, уделялось зонам, связанным с речью. И в них действительно нашли много интересного. Например, *planum temporale* – часть зоны Вернике, области коры, ответственной за понимание речи, – в левом полушарии больше, чем в правом, у человека, шимпанзе и макака-резуса. Однако эта область уникальна на мик-

роскопическом уровне только в левом полушарии человека: кортикальные мини-колонки<sup>6</sup> в ней шире, а расстояния между ними больше. Такая особая нейрональная структура, вероятно, означает, что в левом полушарии осуществляется более совершенный и менее избыточный способ обработки информации, хотя возможно, это признак чего-то другого, пока неизвестного. Асимметрии в кортикальной структуре задней речевой области и зоны Брока, которые отвечают за распознавание и воспроизведение речи, также существуют, а значит, когда-то происходили изменения связности, ответственные за эту уникальную способность<sup>[52]</sup>.

Когда мы начали изучать расщепленный мозг, то наткнулись на еще одно поразительное анатомическое отличие. В мозге шимпанзе и макака-резуса передняя комиссура – пучок нервных волокон, соединяющий между собой средние и нижние височные извилины двух полушарий, – связана с передачей *визуальной* информации<sup>[53]</sup>. Однако благодаря результатам более давних исследований, проводившихся при участии пациентов с расщепленным мозгом, мы знали, что у человека передняя комиссура передает не зрительную информацию, а обонятельную и слуховую: структура та же, функция иная. Другое яркое отличие связано с главным зрительным путем, который соединяет сетчатку глаза с первичной зрительной корой в затылочной доле (задней части мозга) и у обезьян, и у людей. При повреждении зрительной коры обезьяны все еще могут видеть объекты в пространстве, различать цвета, яркость, ориентацию и образы<sup>[54]</sup>. Однако люди с теми же поражениями слепнут и не могут выполнять эти задачи. Это опять-таки подчеркивает, что одни и те же структуры у разных биологических видов могут выполнять различные функции и что нам следует относиться с подозрением к межвидовым обобщениям.

Новая методика, диффузионно-тензорная визуализация, фактически позволяет составить карту нервных волокон. Мы получили возможность понять, как человеческий мозг организован локально, – увидеть это, зарегистрировать и измерить. С помощью этой технологии уже найдены дополнительные доказательства того, что топология соединений нейронов изменялась. Например, выяснилось, что дугообразный пучок – нервный пучок белого вещества, который у человека связан с речью, – устроен совершенно по-разному у шимпанзе, макаков и людей<sup>[55]</sup>.

## Разные типы нейронов

Несколько лет назад я задался следующим вопросом: кто-нибудь размышлял над тем, отличаются ли нервные клетки разных биологических видов друг от друга, или же они все одинаковы? Я спросил об этом нескольких ведущих нейробиологов: “Если бы вы регистрировали электрические импульсы от среза гиппокампа в чашке Петри, не зная, образец ли это мозга мыши, обезьяны или человека, смогли бы вы определить, что именно перед вами?” В то время большинство ответов звучало примерно так: “Клетка есть клетка есть клетка”<sup>7</sup>. Это универсальная единица обработки информации, отличающаяся у пчелы и у человека только размером. Если надлежащим образом масштабировать нейроны мыши, обезьяны и человека, невозможно будет увидеть между ними никакой разницы. Однако сейчас преобладает еретическое представление, которое возникло в последние десять лет: все нейроны неодинаковы, а некоторые их типы встречаются лишь у определенных биологических видов. Более того, тот или иной тип нейронов якобы может обладать уникальными свойствами у того или иного вида.

---

<sup>6</sup> Отдельные нейроны в шести слоях неокортекса организованы еще и вертикально – выстроены в столбики (так называемые микроколонки, миниколонки, или уже упоминавшиеся кортикальные модули), расположенные перпендикулярно поверхности мозга.

<sup>7</sup> Отсылка к фразе “Роза есть роза есть роза есть роза” из одного произведения американской писательницы Гертруды Стайн. – *Прим. ред.*

Первое доказательство, что различия между нейронами человека и обезьяны на микроскопическом уровне существуют, обнаружил нейроанатом Тодд Пройсс с коллегами в 1999 году. Они увидели, что в первичной зрительной коре в затылочной доле мозга нейроны одного из подслоев (4А) у человека структурно и биохимически отличаются от соответствующих нейронов других приматов. Слой, который составляют эти нейроны, – часть системы, передающей информацию о распознавании объекта от сетчатки через зрительную кору затылочной доли в височную долю. В мозге человека эти нейроны образуют сложную сетеобразную структуру – в отличие от простой вертикальной, как у других приматов. Открытие было крайне неожиданным, поскольку, по выражению Пройсса, “в нейробиологии зрения предположение о том, что между макаками и людьми нет значимых различий, – сродни догмату веры”<sup>[56]</sup>. Пройсс высказал догадку, что такое эволюционное изменение в организации нейронов могло обеспечить человеку превосходную способность различать объекты на окружающем фоне.

Эти результаты заставили ученых задуматься о том, что большинство наших представлений о структуре и функции зрительной системы опираются на выводы из исследований главным образом макаков. Как уже отмечалось, подобные открытия, демонстрирующие неидентичность коры мозга у людей и обезьян, по мнению Пройсса, как минимум обременительны. Обобщения нейробиологов о нейрональной архитектуре, организации мозга, связях и обусловленной всем этим работе основывались на результатах, полученных при изучении лишь нескольких биологических видов, а именно макаков и крыс. Насколько ошибочно такое основание – еще предстоит выяснить. Это заблуждение явно не ограничивается зрительной системой.

Даже основной “кирпичик” мозга, пирамидный нейрон (названный так за форму его тела, похожую на конфетку *Hershey's Kisses* в виде купола), привлек пристальное внимание. В 2003 году, после того как специалисты по сравнительной нейробиологии десятилетиями восхваляли одинаковость пирамидных нейронов у всех видов, австралийский ученый Гай Элстон подтвердил и напомнил нам оригинальные догадки Рамон-и-Кахалю. Как Дэвид Примак беспокоился, что при сравнении поведения разных видов сходство интерпретируется как равенство, так и Элстон сетует, что среди ученых, занимающихся сравнительной нейробиологией коры мозга млекопитающих, “к сожалению, слово ‘подобный’ многими толковалось как ‘точно такой же’”. Это породило широко распространенное мнение, будто кора мозга однотипна и состоит из одних и тех же повторяющихся структурных единиц, одинаковых у разных видов<sup>[57]</sup>. По мнению Элстона, в этом нет никакого смысла: “Если нейронная сеть префронтальной коры – области мозга, обычно вовлеченной в когнитивные процессы, – такая же, как и сети других зон коры, каким образом она может осуществлять столь сложную функцию, как человеческое мышление?” Это было непонятно и Рамон-и-Кахалю, посвятившему всю свою жизнь исследованиям, ведь он еще сто лет назад заключил, что мозг не состоит из одинаковых повторяющихся сетей.

Элстон и другие ученые обнаружили, что разветвленность и количество базальных дендритов у пирамидных нейронов префронтальной коры больше, чем в других кортикальных зонах. Поэтому дендриты этих нейронов обеспечивают каждому из них больше связей, чем в других частях мозга. Теоретически это означает, что отдельные нейроны префронтальной коры получают большее количество более разнообразных входных сигналов от большего участка коры, чем их сородичи в других частях мозга. На самом деле различия между пирамидными клетками не ограничиваются только теми, которые связаны с расположением в мозге. Элстон и его коллеги выявили также, что пирамидные клетки заметно различаются по структуре среди приматов<sup>[58]</sup>.

Кроме того, известно, что у разных видов нейроны по-разному отвечают на раздражение. В процессе нейрохирургической операции, когда вырезают опухоль, вместе с ней удаляют и немного здоровых нейронов. Гордон Шеперд, нейробиолог из Йельского университета,

помещал такие человеческие клетки в тканевую культуру и регистрировал их электрические импульсы, генерируемые в ответ на внешнее раздражение, а затем проделывал то же самое с нейронами морских свинок. Он обнаружил, что дендриты нейронов этих двух биологических видов отвечают на внешние стимулы по-разному<sup>[59]</sup>.

### **Все еще разные типы нейронов**

В начале 1990-х годов Эстер Нимчински с коллегами в Школе медицины Маунт-Синай решила заново изучить достаточно редкий и забытый тип нейронов, впервые описанный неврологом Константином фон Экономом в 1926 году<sup>[60]</sup>. Длинный, тонкий нейрон фон Экономом (по-другому – веретенообразный) отличается от более “коренастого” пирамидного нейрона. Нейрон фон Экономом больше в четыре раза. Хотя у обоих есть по одному апикальному (отходящему от вершины клетки) дендриту, у веретенообразного нейрона, в отличие от ветвистого пирамидного, есть также только один базальный дендрит (с противоположной стороны клетки). Кроме того, нейроны фон Экономом встречаются только в особых участках мозга, связанных с когнитивной деятельностью, – в передней поясной и фронтоинсулярной коре; недавно их также обнаружили в дорсолатеральной префронтальной зоне у людей<sup>[61]</sup> и слонов. Среди приматов эти нейроны найдены только у человека и человекообразных обезьян<sup>[62]</sup>, причем у людей как абсолютное их количество, так и относительное больше. В то время как у человекообразных обезьян насчитывается в среднем 6,95 тысячи таких нейронов, у взрослого человека их 193 тысячи, у ребенка четырех лет – 184 тысячи, а у новорожденного – 28,2 тысячи. Из-за локализации, структуры, биохимии этих клеток и из-за связанных с ними болезней нервной системы нейробиолог Джон Олман из Калифорнийского технологического института и его коллеги<sup>[63]</sup> предполагают, что нейроны фон Экономом – часть нервной сети, вовлеченной в социальное осознание, и что они могут участвовать в принятии быстрых, интуитивных социальных решений. В линии гоминид эти клетки, судя по всему, возникли у общего предка высших приматов около 15 миллионов лет назад. Любопытно, что из млекопитающих эти нейроны были обнаружены исключительно у социальных животных с большим мозгом: у слонов<sup>[64]</sup>, у некоторых видов китов<sup>[65]</sup> и – совсем недавно – у дельфинов<sup>[66]</sup>. Причем нейроны фон Экономом у них появились независимо. Это пример конвергентной эволюции – процесса, в котором неродственные группы организмов приобретают сходные признаки. Хотя нейроны фон Экономом присущи не только людям, их количество в нашем мозге беспрецедентно.

В 2006 году Ирина Байстрон и ее коллеги нашли у человеческого эмбриона 31-51-го дня развития уникальные клетки-предшественники – первые нейроны, формирующиеся в коре головного мозга<sup>[67]</sup>. Ничего подобного этим клеткам пока не было найдено ни у одного другого вида.

## У нас просто разные нейронные сети

Итак, число доказательств, указывающих на отличия – анатомические, в связности и по типам клеток – мозга человека от мозга других животных, растет. Поэтому, я думаю, мы вправе заявить, что мозг человека по сравнению с остальными животными организован иначе. И когда мы по-настоящему это осознаем, то сможем разобраться, что делает нас такими особенными.

Вот какие мы – рожденные с бурно развивающимся мозгом, который находится под мощным контролем генетики и совершенствуется под влиянием эпигенетических факторов (негенетических, заставляющих гены организма вести себя по-разному) и обучения, зависящего от активности. Мозгом, который обладает структурированной, а не случайной сложностью, производит автоматическую обработку информации, имеет особый набор навыков со своими ограничениями и универсальными способностями, – и все это возникло в ходе естественного отбора. В следующих главах мы увидим, что обладаем несметным числом когнитивных способностей, которые разделены и территориально представлены в разных частях мозга, каждая со своими нейронными сетями. Также у нас есть системы, которые работают одновременно, параллельно, распределенные по мозгу. Это означает, что наш мозг имеет несколько систем управления, не только одну. Именно он, а не какие-то вынуждающие его внешние психические силы создает нашу личную историю, рассказ о нас самих.

Однако нас ожидает много загадок. Мы попробуем понять, почему люди охотно признают, что механизмы ведения “домашнего хозяйства” нашего тела, например дыхание, – результат деятельности мозга, но так сопротивляются идее, что и наш разум воплощается в мозге. Другая головоломка, которую мы обсудим, – почему людям, по-видимому, с трудом верится, что мы рождаемся со сложным мозгом, а не с пустым, который легко изменить. Мы увидим, что то, как наш мозг функционирует, и наши представления о его работе и чувства влияют не только на идеи нисходящей причинности, сознания и свободы воли, но и на наше поведение.

Но что все это значит для каждого из нас? Как мог бы спросить Боб Дилан, каково это – понять, как мы оказались в таком положении? Каково сомневаться, несем ли мы моральную ответственность за свои действия и обладаем ли свободой выбора, и задумываться, как все это работает? Если кто-то верит, что человеческий разум, его мысли и обусловленные ими действия детерминированы, чувствует ли он себя как-то иначе по сравнению с другими людьми? Через одну главу мы узнаем, каково же понимать, почему мы чувствуем себя психологически цельными и уверенными в себе существами, хотя это, может быть, и не так. (Не беспокойтесь, у меня нет экзистенциального кризиса.) Несомненно, вы все еще будете чувствовать, что в значительной мере контролируете свой мозг, продолжите считать себя за главного, играющего первую скрипку. Вы по-прежнему будете ощущать, что некто – вы сами – здесь, принимает решения и держит руки на штурвале. Вера в то, что какая-то личность, человек, дух, *некто* несет ответственность, называется проблемой гомункулуса. И это убеждение, похоже, ничто не может поколебать. Даже те из нас, кто знает факты и понимает, что все работает по-другому, тем не менее неодолимо чувствуют, что стоят во главе.

## Глава 2

### Параллельный и распределенный мозг

Вы помните эффектную сцену вскрытия трупа из фильма “Люди в черном”? Лицо открывается и обнажает расположенный под ним аппарат мозга, где всем заправляет, орудуя рычагами, маленький инопланетянин. Голливуд прекрасно изобразил то “я”, ощущаемый центр, нечто, осуществляющее контроль, – которое, как мы все думаем, у нас есть. И каждый в это верит, хотя и понимает – все устроено совершенно не так. На самом деле мы осознаем, что обладаем автоматическим мозгом, чрезвычайно распределенной и параллельной системой, у которой, по-видимому, нет начальника, как его нет у интернета. Таким образом, большинство из нас рождаются полностью оснащенными и готовыми к работе. Подумайте, например, о кенгуру валлаби. В течение последних девяти с половиной тысяч лет кустарниковые валлаби, или таммары, живущие на острове Кенгуру у побережья Австралии, наслаждались беззаботной жизнью. Все это время они жили без единого хищника, который бы им досаждал. Они даже никогда ни одного не видели. Почему же, когда им показывают чучела хищных зверей – кошки, лисицы или ныне вымершего животного, их исторического врага, – они перестают есть и настораживаются, хотя не ведут себя так при виде чучела нехищного животного? Исходя из собственного опыта, они не должны даже знать, что существует такое понятие, как животные, которых следует остерегаться.

Подобно валлаби, у нас есть тысячи (если не миллионы) встроенных склонностей к разным действиям и решениям.

Не стану ругаться за кенгуру, но мы, люди, полагаем, что сами, сознательно и намеренно, принимаем все свои решения. Мы чувствуем себя изумительно цельными, прочными сознательными механизмами и думаем, что стоящая за этим структура мозга должна как-то отражать это непреодолимое свойственное нам чувство. Но нет никакого центрального командного пункта, который бы, как генерал, раздавал приказания всем прочим системам мозга. Мозг содержит *миллионы* локальных процессоров, принимающих важные решения. Это узкоспециализированная система с критически важными сетями, рассредоточенными по 1300 граммов биологической ткани. Нет ни одного шефа в мозге. Вы уж точно ему не начальник. Вам хоть раз удалось заставить свой мозг замолчать уже и заснуть?

Сотни лет ушли на то, чтобы накопить знания об организации человеческого мозга, которыми мы сейчас обладаем. К тому же дорога была каменистой. И по мере того, как разворачивались события, неотступная тревога по поводу этих знаний сохранялась. Как все эти процессы могут сосредоточиваться в мозге столькими разными способами и тем не менее вроде бы функционировать как единое целое? История начинается с давних времен.

## Локализованные функции мозга?

Первые зацепки появились в анатомии. Современные представления об анатомии человеческого мозга проистекают из трудов английского врача XVII века Томаса Уиллиса, в честь которого назвали виллизиев круг<sup>8</sup>. Он первым описал продольные волокна мозолистого тела и несколько других структур. Прошло чуть больше столетия, и в 1796 году австрийский врач Франц Йозеф Галль выдвинул идею, что различные части мозга выполняют разные психические функции, отражающиеся в индивидуальных талантах, чертах характера и склонностях. Он даже предположил, что нравственные и умственные способности человека – врожденные. Хотя идеи были хороши, они основывались на ложных предпосылках, которые не подтверждались надежными научными фактами. Галль думал, что мозг состоит из разных органов, каждый из которых отвечает за определенный психический процесс, проявляющийся в виде специфической способности или особенности характера. Если какая-то способность развита лучше, соответствующий орган увеличивается в размере – и это можно почувствовать, надавливая на поверхность черепа. Так он заключил, что, исследуя череп человека, можно выявить его способности и характер. Так родилась френология.

У Галля появилась и другая хорошая идея: он переехал в Париж. Говорят, однако, что он пришелся не по вкусу Наполеону Бонапарту, так как не приписал его черепу тех выдающихся отличительных признаков, которыми будущий император, по собственному мнению, обладал. Определенно, Галль не был политиком. Когда он подал заявление о вступлении в Академию наук в Париже, Наполеон распорядился, чтобы академия нашла какие-нибудь научные обоснования гипотез врача, так что физиолога Мари-Жан-Пьера Флуранса попросили предоставить строгие доказательства, которые бы подтвердили теорию Галля.

В то время существовало три метода исследования, которыми Флуранс мог вооружиться: он мог (1) хирургически разрушать конкретные участки мозга животных и наблюдать за результатами; (2) стимулировать различные области мозга животных электрическими импульсами и смотреть, к чему это приводит; (3) изучать пациентов с неврологическими нарушениями с клинической точки зрения, а после их смерти производить вскрытия. Флуранса захватила идея, что конкретные участки мозга осуществляют особые процессы (церебральная локализация), и он стал проверять эту гипотезу первым из описанных выше способов. Изучая мозг кроликов и голубей, он впервые показал, что так и есть – некоторые части мозга ответственны за определенные функции. Когда он удалял полушария мозга, не было больше восприятия, двигательных способностей и решений. Без мозжечка животные становились неуловимыми и теряли равновесие. А когда им вырезали ствол мозга – что ж, вы знаете, что происходило, – они умирали. Однако он не мог обнаружить ни одной зоны высших способностей, в частности памяти или мышления (как и психолог Карл Лешли, изучая мозг крыс, о чем мы говорили в прошлой главе). Флуранс сделал вывод, что эти функции более диффузно распределены по мозгу. Итак, предположение о том, что по черепу человека можно определить его характер и умственные способности, не выдержало строгости науки, и это занятие стало уделом шарлатанов. К сожалению, правильная мысль Галля о локализации церебральных функций была отброшена вместе с неправильной. Другую же его удачную идею – переехать в Париж – приняли хорошо.

Тем не менее не так уж много лет спустя благодаря клиническим исследованиям стали просачиваться сведения, подтверждающие идею Галля. В 1836 году другой француз – Марк Дакс, невропатолог из Монпелье, – отослал в Академию наук отчет о трех пациентах, в котором отметил любопытное совпадение: у всех троих были нарушения речи и сходные поражения

---

<sup>8</sup> Сосудистая структура в основании головного мозга.

левого полушария, обнаруженные при вскрытии. Однако наблюдения провинциального врача не слишком заинтересовали парижских ученых. Двадцать пять лет никто не обращал внимания на это открытие – что речь может нарушиться при повреждении только одного из двух полушарий, – пока в 1861 году знаменитый парижский врач Поль Брока не обнаружил отчет о вскрытии тела одного пациента по прозвищу Тан. У него развилась афазия, и он получил свое прозвище, потому что слово “тан” оказалось единственным, которое он остался способен произнести. Брока обнаружил у Тана сифилитическое поражение в левом полушарии, в нижней части лобной доли. Затем он приступил к изучению еще нескольких пациентов с афазией и нашел у них поражения в том же месте. Эта область, которую позже назвали речевым центром, также известна как зона Брока. В то же время немецкий врач Карл Вернике обнаружил пациентов с повреждениями в височной доле, которые слышали слова и звуки совершенно нормально, но не могли их понимать. Так начался поиск зон мозга, соответствующих определенным способностям.

Британский невролог Хьюлингс Джексон подтвердил открытия Брока, однако в этой истории он полноправный участник. Его жена страдала генерализованными припадками, которые он мог наблюдать очень близко. Он заметил, что судороги всегда начинались в определенной части ее тела и последовательно распространялись дальше по неизменной схеме. Это подсказало ему, что особые участки мозга контролируют движения разных частей тела. Так возникла теория, согласно которой моторная активность зарождается и локализуется в коре головного мозга. Джексон также имел в своем распоряжении офтальмоскоп, который несколькими годами ранее изобрел Герман фон Гельмгольц, немецкий врач и физик. Этот инструмент позволяет врачу заглянуть в глазную область. Джексон считал, что невропатологу важно изучать глаз, а зачем – станет ясно далее. Подобные клинические наблюдения, за которыми следовали данные вскрытий, все больше и больше подтверждали правоту догадки Галля о локализации церебральных функций.

## Великий мир бессознательного

Локализация была не единственной назревавшей идеей о функционировании мозга. Различные художественные произведения, от “Отелло” Шекспира до “Эммы” Джейн Остин, содержали намеки на то, что многое в мозге происходит в сфере неосознаваемого. Хотя идею об айсберге, лишь верхушку которого составляет сознание, а всю скрытую часть – бессознательные процессы, обычно связывают с именем Зигмунда Фрейда, он был не автором ее, а глашатаем. Многие опередили Фрейда, подчеркнув важность бессознательного, – в особенности философ Артур Шопенгауэр, вдохновитель большого числа его идей, а позже англичанин Фрэнсис Гальтон, викторианский аналог человека эпохи Возрождения. Гальтон занимался многими вещами – был антропологом, исследователем тропиков (Юго-Западной Африки), географом, социологом, генетиком, статистиком, изобретателем, метеорологом. Он даже считался отцом психометрии – дисциплины, занимающейся разработкой инструментов и методов оценки интеллекта, эрудиции, черт характера и так далее. В журнале *Brain*<sup>9</sup> он изобразил разум в виде дома, возведенного на “сложной системе дренажей и газо- и водопроводных труб... которые обычно скрыты от глаз и о существовании которых, пока они хорошо работают, мы и не задумываемся”. В конце этой статьи он писал: “Пожалуй, самое сильное впечатление от всех этих опытов оставляет многогранность работы, выполняемой разумом в полубессознательном состоянии, а также убедительный довод, представляемый этими опытами в пользу существования еще более глубинных слоев психических процессов, целиком погруженных ниже уровня сознания, которые могут отвечать за психические феномены, иначе не объяснимые”<sup>[68]</sup>. В отличие от Фрейда, Гальтон хотел обосновать свои теории четкими результатами, получаемыми с помощью статистических методов. Он добавил в арсенал исследователей статистические понятия корреляции, среднеквадратичного отклонения и регрессии к среднему значению, а также первым начал проводить опросы и использовать анкеты. Гальтона также интересовала наследственность (неудивительно, ведь его двоюродным братом был Чарльз Дарвин). Он первым стал употреблять выражение “наследственность или среда” и проводить исследования на близнецах, чтобы выявить различающиеся для них факторы<sup>10</sup>.

Итак, возникавшие идеи о локализации функций мозга и о бессознательных процессах обсуждались, но, как мы видели в прошлой главе, в начале XX века страдали из-за широкого признания бихевиоризма и теории эквипотенциальности мозга. Хотя последняя всегда сталкивалась с серьезным вызовом со стороны клинической медицины. Это началось с наблюдения Дакса, заметившего связь между поражением специфической зоны мозга и конкретными последствиями у ряда людей. Теория эквипотенциальности мозга никогда не могла объяснить ни этого, ни многих других неврологических случаев, казавшихся загадочными. Однако, как только ученые поняли, что мозг содержит распределенные и специализированные нейронные сети, некоторые из этих клинических тайн разрешились. Даже до изобретения современных методов визуализации мозга и электроэнцефалографии изучение расстройств пациентов, страдающих поражениями мозга, позволило понять работу этого органа в норме и то, как он выполняет когнитивные функции.

---

<sup>9</sup> Хьюлингс Джексон был одним из основателей этого журнала.

<sup>10</sup> Гальтон, первооткрыватель во многих областях, также создал систему классификации отпечатков пальцев и вычислил вероятность того, что у двух людей отпечатки совпадут.

## Помощь пациентов

Нейробиологи в неоплатном долгу перед множеством пациентов, которые великодушно соглашаются участвовать в исследованиях. Изучение пациентов с помощью рентгеновского излучения и первых сканирующих устройств показало, что поведенческие расстройства любого рода вызываются поражениями определенных областей мозга. Например, повреждение специфического участка теменной доли может вызвать странный синдром *редуплицирующей парамнезии*, когда у человека возникает галлюцинаторная убежденность в том, что данное место в точности копирует какое-то другое или что одновременно существует несколько таких же точно мест. Одна моя пациентка, которую я принимал в моем кабинете в нью-йоркском госпитале, утверждала, что мы в ее доме во Фрипорте, штат Мэн. Я начал с вопроса: “Где вы сейчас находитесь?” Она ответила: “Во Фрипорте, штат Мэн. Знаю, вы в это не верите. Доктор Познер, когда зашел осмотреть меня утром, сказал, что я в Мемориальном онкологическом центре имени Слоуна-Кеттеринга. Прекрасно, но я-то знаю, что нахожусь в своем доме на Главной улице Фрипорта!” Я спросил: “Хорошо, если вы во Фрипорте у себя дома, с каких это пор у вас лифты за дверью?” Она невозмутимо ответила: “Доктор, знали бы вы, во сколько мне обошлась их установка!”

Переместимся к передней части мозга. Повреждение боковых участков лобных долей влечет за собой отклонения, которые проявляются при выполнении последовательности действий, так что человек теряет способность решать несколько задач одновременно или планировать. Поражения глазничной части лобной доли, находящейся непосредственно над глазами, прерывают эмоциональные цепочки реакций, которые осуществляют обратную связь для отслеживания когнитивных состояний, так что человек может утратить способность решать, что хорошо, а что плохо. Также может ухудшиться способность подавлять некоторые формы поведения, что придаст поступкам человека импульсивный, навязчивый, агрессивный и/или жестокий характер, а также породит нарушения высших когнитивных функций. А повреждение зоны Вернике в левой височной доле вызывает афазия Вернике, при которой человек может совершенно перестать понимать устную или письменную речь и начинает сам говорить тарбарщину, хотя, возможно, бегло и в естественном ритме. Таким образом, благодаря клинической медицине мы видим, что конкретные части мозга связаны с определенными аспектами когнитивной деятельности.

## Функциональные модули

Действительно, сегодня кажется, что функции мозга локализованы куда точнее, чем даже Галль мог представить. Некоторые пациенты имеют такие повреждения в височной доле, при которых очень плохо распознают животных, но не предметы, созданные человеком, и наоборот<sup>[69]</sup>. При поражении в одном месте вы не сможете отличить джек-рассел-терьера от барсука (не то чтобы между ними была большая разница), а в другом – не узнаете тостер. Встречаются даже люди, которым определенные повреждения мозга не позволяют распознавать исключительно фрукты. Исследователи из Гарвардского университета Альфонсо Карамазза и Дженнифер Шелтон утверждают, что мозг содержит специализированные познавательные системы (модули) для одушевленных и неодушевленных предметов, с разными нейронными механизмами. Эти системы, связанные с конкретными областями, не содержат знания как такового, но заставляют нас подмечать различные стороны ситуации и тем самым увеличивают наши шансы на выживание. Например, это могут быть достаточно специфические детекторы для некоторых хищных животных, в частности для змей или крупных кошачьих<sup>[70]</sup>. Стабильный набор соответствующих *визуальных* признаков может быть закодирован в мозге, вынуждая нас обращать внимание на определенные типы биологического движения (скольжение в случае змей) или на особые характеристики животного (острые зубы, обращенные вперед глаза, размер и форма тела в случае больших кошек). Такие признаки используются как входная информация для распознавания опасных животных<sup>[71]</sup>. У нас нет врожденного знания, что тигр это тигр, зато есть врожденное понимание того, что большое крадущееся животное с острыми зубами и обращенными вперед глазами – хищник, и мы автоматически настораживаемся. Подобным же образом мы автоматически получаем небольшую дозу адреналина и отскакиваем в сторону, заметив скользящее движение в траве.

Такая специфичная система распознавания хищников, разумеется, есть не только у людей. Ричард Кросс с коллегами из Калифорнийского университета в Дэйвисе изучал белок, которые росли в изоляции и никогда в своей жизни не видели змей. Впервые столкнувшись с этими пресмыкающимися, белки их избегали, хотя не сторонились других новых объектов. Получается, белки обладают врожденной настороженностью по отношению к змеям. Фактически исследователи смогли доказать, что для исчезновения “змеиного шаблона” требуется десять тысяч лет существования без змей<sup>[72]</sup>. Это объясняет и поведение валлаби на острове Кенгуру. Они реагировали на какие-то визуальные сигналы, характеризующие чучела хищников, а не на поведение или запах. Таким образом, действительно существуют крайне специфичные модули (в данном случае для распознавания), работа которых не зависит от предшествующего опыта или социального контекста. Эти механизмы врожденные и встроенные: часть из них мы разделяем с остальными животными, какие-то есть у других видов, но не у нас, а существуют и исключительно человеческие.

## Расщепление мозга

С 1961 года появилась новая возможность исследовать работу мозга благодаря пациентам, которым разъединили полушария, – так называемым пациентам с расщепленным мозгом. В конце 1950-х годов в Калифорнийском технологическом институте лаборатория Роджера Сперри изучала последствия рассечения мозолистого тела у обезьян и кошек<sup>[73]</sup> и разрабатывала методы выявления возможных эффектов. Исследователи обнаружили, что, если одно полушарие животного с неповрежденным мозолистым телом осваивало какую-то задачу, это умение передавалось и второму полушарию, чего не происходило, если мозолистое тело было рассечено. Разъединенные полушария по отдельности воспринимали информацию и обучались. Это удивительное наблюдение поставило вопрос: могли бы подобные последствия проявиться у человека? Идею встретили с изрядной долей скептицизма, причем по нескольким причинам. Хотя в конце XIX века многие описанные неврологические случаи охарактеризовали специфические нарушения при очаговых поражениях мозолистого тела, эти открытия стали заложниками теории Лешли об эквипотенциальности коры головного мозга: их проигнорировали, замели под ковер и в буквальном смысле позабыли на долгие годы. Еще одним мнимым контраргументом скептиков был тот факт, что у детей, родившихся без мозолистого тела, не проявлялось никаких побочных действий<sup>11</sup>. И последняя важная причина заключалась в том, что одаренный молодой невропатолог Эндрю Акелайтис не обнаружил у двадцати шести своих пациентов никаких последствий (ни неврологических, ни психологических) после того, как им в 1940-х годах в Рочестерском университете рассекли мозолистое тело (такая операция называется комиссуротомией), чтобы вылечить стойкую эпилепсию<sup>[74]</sup>. После операции все пациенты чувствовали себя прекрасно и сами не замечали никаких изменений. Карл Лешли ухватился за эти данные, чтобы продвинуть свои идеи о действии массы и эквипотенциальности коры мозга. Он утверждал, что отдельные нейронные сети неважны – имеет значение только общая масса коры. По его мнению, мозолистое тело нужно просто для того, чтобы удерживать полушария вместе.

Перед последним курсом обучения в Дартмутском колледже я устроился работать на лето в лабораторию Роджера Сперри в Калифорнийском технологическом институте, потому что интересовался исследованиями регенерации нервов, о которых мы говорили в прошлой главе. Однако тогда лаборатория уже сосредоточилась на мозолистом теле, так что я провел лето в попытках анестезировать половину мозга кролика и решил, что такая жизнь – посвященная занятиям фундаментальными исследованиями – по мне. Меня завораживал вопрос о том, что происходит с людьми после рассечения мозолистого тела. Поскольку в лаборатории выявляли существенные изменения в работе мозга кошек и обезьян, в том числе шимпанзе, после такой операции, я был уверен, что должны быть какие-то последствия и у людей. В мой последний учебный год я задумал во время весенних каникул заново обследовать тех пациентов, которых Эндрю Акелайтис наблюдал в Рочестерском университете, и разработал для этого новый метод. Вооруженный моим первым грантом в размере 200 долларов от Фонда Хичкока при Дартмутской медицинской школе, который покрывал расходы на прокат машины и комнату в отеле, я отправился в Рочестер. Мой арендованный автомобиль был забит тахистоскопами (устройствами докомпьютерной эпохи, демонстрирующими на экране изображения в течение определенного промежутка времени) для проведения исследования, позаимствованными в дартмутском отделении психологии. Однако, когда я уже готовился начать работу, тестирование отменили, так что я уехал разочарованный и с пустыми руками. Тем не менее мое любопытство

---

<sup>11</sup> Позднее ученые пришли к выводу, что у таких детей развивались компенсаторные нервные пути.

не ослабло, я твердо решил вернуться в оживленную атмосферу Калифорнийского технологического института и пойти в аспирантуру, что и осуществил следующим летом.

В начале последипломной работы мне подвернулась новая возможность. Нейрохирурги Джозеф Боген и Филип Вогель из Мемориальной больницы Уайта в Лос-Анджелесе наблюдали одного пациента, которому, как считал Боген после критического анализа медицинской литературы, пошла бы на пользу операция по расщеплению мозга. Пациент дал свое согласие. Предыдущие десять лет у этого крепкого и обаятельного мужчины (назовем его WJ) случалось по два больших эпилептических припадков в неделю, причем после каждого ему требовался день на восстановление. Нечего и говорить, как это чудовищно влияло на его жизнь, так что он сразу отважился на рискованную операцию. Я уже располагал методиками тестирования, которые разработал в Дартмутском колледже, и мне поручили провести обследование WJ до и после хирургического вмешательства<sup>[75]</sup>. Операция прошла крайне успешно. Пациент был потрясен тем, что не чувствует никаких изменений в себе, а его большие эпилептические припадки полностью прекратились. Я тоже был взбудоражен тем, что обнаружил относительно работы мозга WJ, и поражен результатами этого пациента (и потом еще других, кто с тех пор последовал за ним).

Операцию по рассечению мозолистого тела проводили в тех случаях, когда уже были опробованы все другие методы лечения стойкой эпилепсии. Уильям ван Вагенен, нейрохирург из Рочестера, штат Нью-Йорк, выполнил первую такую операцию в 1940 году, заметив, что одному его пациенту, страдавшему тяжелыми припадками, стало значительно лучше после того, как его мозолистое тело поразила опухоль<sup>[76]</sup>. Врачи решили, что электрические импульсы, вызывающие приступы, не могут распространяться с одной стороны мозга на другую, когда соединение между двумя полушариями разрезается, – и это предотвращает генерализованную судорогу. И все же разделение мозга пополам – серьезное дело. Возможные побочные эффекты такой операции вызывали у всех огромные опасения. Не появится ли в результате расщепленная личность с удвоенным мозгом в одной голове?

Однако процедура оказалась очень удачной. Судорожная активность пациентов снижалась в среднем на 60-70 %, некоторые полностью избавлялись от припадков, и при этом все чувствовали себя прекрасно – никаких расщепленных личностей, никакого расколотого сознания<sup>[77]</sup>. Большинство пациентов совершенно не осознавали никаких изменений в своих психических процессах и выглядели абсолютно нормально. В общем, все было прекрасно, что тем не менее озадачивало.

Операция по полному разделению полушарий включает в себя рассечение двух нервных трактов, связывающих половины мозга: переднюю комиссуру и мозолистое тело. Однако при этом не все связи между полушариями разрываются. Оба все еще соединяются с общим мозговым стволом, который поддерживает у них одинаковый уровень возбуждения, чтобы для удобства они спали и бодрствовали в одно и то же время<sup>[78]</sup>. Подкорковые нервные пути остаются в неизменном виде, и оба полушария получают значительную часть одинаковой сенсорной информации от нервов тела, связанных с пятью органами чувств, и кинестетической (или проприоцептивной<sup>12</sup>) информации о положении тела в пространстве от афферентных нервов в мышцах, суставах и сухожилиях. В то время мы не знали, что оба полушария могут инициировать движения глаз и что существует, по всей видимости, только одна интегрированная система пространственного внимания (совокупность процессов, которые позволяют выделить определенные стимулы на фоне всех остальных), остающаяся единой после расщепления мозга. Поэтому-то внимание не может распространяться одновременно на две пространственно разделенные точки<sup>[79]</sup>. Хотя большинство современных водителей вполне уверены, что на это спо-

---

<sup>12</sup> Информация, поступающая от проприоцепторов – специальных рецепторов, которые воспринимают раздражения в тканях тела, связанные с его движением и мышечной активностью. – *Прим. ред.*

собны, к сожалению, правая половина мозга не может следить за дорогой, в то время как левая читает сообщения на мобильном телефоне. С тех пор мы также узнали, что эмоциональные стимулы, предъявляемые одному полушарию, все равно влияют на суждения второго. Но с самого начала, благодаря исследованиям Дакса и Брока, мы знали, что речевые зоны у человека расположены в левом полушарии (исключение – некоторые случаи у левшей).

При обследовании до операции WJ мог назвать объекты, предъявленные в поле зрения каждого глаза или помещенные в любую из его рук, а также понять команду и выполнить ее любой рукой. Иными словами, все было в пределах нормы. Когда он вернулся на обследование после операции, то чувствовал себя прекрасно и, подобно пациентам из Рочестера, не отмечал в себе никаких изменений, кроме отсутствия припадков. Я разработал методику тестирования, которая, в отличие от использованной Акелайтисом, учитывала строение зрительной системы человека. У людей зрительные нервы от каждого глаза встречаются в так называемом зрительном перекресте (или хиазме). Там каждый нерв разделяется на два. Половина нервных волокон, расположенная ближе к середине тела (внутренняя), после хиазмы продолжается в противоположную часть мозга, а наружная (внешняя) половина остается на той же стороне мозга. Таким образом, части обоих глаз, собирающие информацию от правого поля зрения, передают ее левому полушарию, а информация от левого поля зрения идет в правое полушарие и там обрабатывается. В экспериментах на животных зрительная информация не переходит из одного отделенного полушария в другое. Только правая часть мозга имеет доступ к информации, поступающей от левого поля зрения, и наоборот. Такое устройство зрительной системы позволяет подавать информацию только одной половине мозга животного.

Итак, наступил день первого обследования WJ после операции. Что же мы обнаружим? Поначалу все происходило в соответствии с нашими ожиданиями: поскольку центр речи у пациента находится в левом полушарии, он сможет назвать объекты, которые оно видит. И действительно – он с легкостью называл объекты, предъявленные его левому полушарию. Так, когда мы быстро показывали изображение ложки, находившееся в его правом поле зрения, и спрашивали: “Вы что-нибудь видели?” – он сразу отвечал: “Ложку”. А затем последовало контрольное испытание: что случится, когда объект предъявят правому полушарию (из левого поля зрения)? Исследования Акелайтиса предполагали, что мозолистое тело не играет особенной роли в межполушарной интеграции информации. Следовательно, можно было ожидать, что WJ без труда назовет предмет. Однако эксперименты на животных, проводимые в Калифорнийском технологическом институте, говорили об обратном – на что я и делал ставку. Итак, мы быстро показали изображение правому полушарию WJ, и я спросил: “Вы что-нибудь видели?”

Если вы не занимаетесь научными исследованиями, то, должно быть, лучше прочувствуете наэлектризованность этого момента, если представите себе вращающееся колесо рулетки. Все свои сбережения за несколько лет вы поставили на красное. Вы надеетесь, что шарик остановится на красном, и тревога ожидания растет, когда колесо начинает замедляться, с вашими средствами к существованию и часами работы на кону. Так и я надеялся, что дизайн моего эксперимента выявит нечто еще неизвестное, и моя тревога резко выросла, когда настало время предъявить изображение правому полушарию WJ. Что произойдет? Адреналин перекачивался по моему телу, сердце скакало, как футбольный мяч в Дартмуте, когда тренером был Боб Блэкмен. Хотя сейчас этими открытиями уже никого не удивишь (они стали просто поводом для беседы за коктейлем), невозможно описать мое изумление, когда WJ сказал: “Нет, я ничего не видел”. Мало того что он не мог больше словесно описать, используя свое левое полушарие, предмет, представленный только что отделенному правому полушарию, он не знал, что изображение вообще показывали. Эксперимент, который я спланировал как студент старших курсов и смог поставить как аспирант, обернулся ошеломляющим открытием! Вряд ли Хри-

стофор Колумб чувствовал себя более взволнованным, когда обнаружил новую землю, чем я в тот момент.

Сначала казалось, что пациент просто слеп к стимулам, которые возникают в его левом поле зрения. Однако дальнейшее исследование показало, что это не так. Я припрятал еще один козырь в рукаве, чтобы вычислить, получает ли правое полушарие какую-либо визуальную информацию. Хотя оба полушария могут управлять близкими к ним мышцами лица и плеч, удаленные от них мышцы кистей рук контролируются разными полушариями. Так, левая часть мозга управляет правой кистью, а правая – левой кистью<sup>[80]</sup>. Если человек не видит своих рук, то левый мозг понятия не имеет, чем занимается правая кисть, и наоборот. Я спланировал эксперимент, в котором WJ, до того как дать словесный ответ (контролируемый левым полушарием), мог отреагировать на увиденный стимул левой рукой (контролируемой правым), используя кодовую таблицу азбуки Морзе. Я адресовал вспышку света его правому полушарию – и в ответ он нажал на клавишу левой рукой, но заявил, что ничего не видел! Его правое полушарие не потеряло способность воспринимать зрительные стимулы, оно прекрасно видело вспышку и смогло сообщить об этом с помощью азбуки Морзе. Единственной причиной, по которой WJ отрицал, что видел вспышку, могло быть только то, что передача информации между двумя полушариями была полностью прервана!

Оказалось, что любая зрительная, осязательная, проприоцептивная, слуховая или обонятельная информация, которая предъявлялась одному полушарию, обрабатывалась только в нем, а другая половина мозга об этом совершенно ничего не знала. Левая половина не представляла, над чем работает правая, и наоборот. Я обнаружил, что у пациента с расщепленным мозгом левое полушарие и его речевой центр не имеют доступа к информации, которая предъявляется правой половине мозга. Нам представилась совершенно уникальная новая возможность – изучать способности одного полушария, отделенного от другого, а не просто нарушение функций в результате повреждения.

В более поздних экспериментах с другими пациентами мы помещали различные предметы в пределах досягаемости левой кисти, но загоразивали их от взгляда. Изображение одного из предметов предъявляли правому полушарию. Левая рука пациента могла ощупывать предметы и выбирала именно тот, который показывали. Но когда пациента спрашивали, видел ли он что-нибудь, или что у него в левой руке, он отрицал, что видел картинку, и не мог описать, что держал в левой руке. Или мы посылали изображение велосипеда правому полушарию и спрашивали пациента, видел ли он что-нибудь. Опять-таки он отвечал отрицательно, но его левая рука рисовала велосипед.

Вскоре стало очевидно, что правое полушарие лучше выполняет зрительно-пространственные задачи. Левая рука, контролируемая правым полушарием, без труда могла сложить цветные кубики так, чтобы воспроизвести их порядок с картинки, предъявленной правому полушарию, а вот правая рука, когда изображение показывали левому полушарию, решала подобную задачу целую вечность. Одному пациенту даже пришлось сесть на свою левую руку, чтобы не дать ей подняться и попробовать выполнить задание. Левая рука могла копировать и рисовать объемные картинки, тогда как правая, та самая, которая запросто может написать текст, была не в состоянии нарисовать куб. Оказалось, правое полушарие специализируется на решении таких задач, как узнавание правильных (не перевернутых) лиц, концентрация внимания и различение сенсорных сигналов. Левое полушарие связано с интеллектом. Оно специализируется на языке, речи и разумном поведении. После комиссуротомии вербальный коэффициент интеллекта пациента не меняется<sup>[81]</sup>, как и его способность решать задачи. Могут наблюдаться некоторые нарушения свободного припоминания и других показателей работоспособности, однако изоляция, по существу, половины коры головного мозга от доминантного левого полушария не вызывает никаких серьезных изменений, связанных с когнитивными функциями. Возможности левого полушария остаются такими же, как и до операции,

при этом в значительной степени отделенное от него, равное по объему правое полушарие серьезно сдает в решении когнитивных задач. Становилось ясно, что правое полушарие живет своей собственной богатой психической жизнью, совершенно иной, нежели левое.

Благодаря изучению неврологических пациентов мы уже знали, что у мозга есть два совершенно разных нейронных пути для порождения спонтанных и произвольных лицевых выражений. Только доминантное левое полушарие может управлять произвольной мимикой<sup>[82]</sup>. При определенных поражениях правого полушария, которые нарушают коммуникацию между половинами мозга, пациенты, когда их просят улыбнуться, делают это только правой стороной лица, а левая остается неподвижной<sup>13</sup>.

Однако, если тем же пациентам рассказывают шутку и они улыбаются спонтанно, их лицевые мышцы реагируют нормально, двусторонне, потому что задействуется другой путь, который не требует “общения” между полушариями. С точностью до наоборот все происходит при болезни Паркинсона, когда повреждена экстрапирамидная система – часть моторной системы, связанная с координацией движений. Такие пациенты не могут придавать своему лицу спонтанные выражения, но сознательно контролируют лицевые мышцы. В экспериментах с расщепленным мозгом мы полагали, что, если дать команду левому полушарию пациента, на нее раньше отреагирует правая половина лица. Именно это и происходило. Когда левое полушарие пациента с расщепленным мозгом видит команду улыбнуться или нахмуриться, правая сторона лица реагирует примерно на 180 миллисекунд раньше левой. Задержка объясняется тем, что правому полушарию нужно получить соматическую обратную связь через подкорковые пути.

Все эти открытия привели к представлению о множестве специализаций, рассредоточенных по мозгу. Однако из результатов наших исследований напрашивался еще один вывод: раз каждое полушарие может обладать информацией вне сферы осознания другого, значит, хирургическая операция по расщеплению мозга способна создать состояние раздвоенного сознания.

---

<sup>13</sup> Левое полушарие преимущественно контролирует лицевые мышцы с правой стороны, а правое полушарие – с левой.

## Двойное сознание?

Не все были взволнованы нашими результатами. Поднимаясь вместе со мной на лифте в Рокфеллеровском университете, Джордж Миллер представил меня великому американскому психологу Уильяму Эстесу и сказал: “Знаешь Майка? Он тот парень, который открыл феномен расщепленного мозга у людей”. – “Отлично, – ответил Эстес, – теперь у нас есть две системы, которые мы не понимаем”. Казалось, операция по расщеплению мозга создавала два независимых полушария, каждое из которых обладало сознанием. Поэтому тогда мы думали, что есть две системы сознания: ум левый и ум правый.

В 1968 году Роджер Сперри написал: “Одну из более общих и к тому же наиболее интересных и поразительных особенностей этого синдрома можно кратко охарактеризовать как очевидное удвоение в большинстве сфер сознательного понимания. Эти пациенты во многом ведут себя так, как если бы у них было два независимых потока осознания вместо нормального единого потока – по одному в каждом полушарии, каждый из которых отрезан от другого и лишен контакта с его психическим опытом. Иными словами, каждое полушарие, похоже, обладает своими собственными, отдельными и частными, ощущениями, своим собственным восприятием, своими собственными данными и своими собственными побуждениями к действию, с соответствующим волевым и когнитивным опытом”<sup>[83]</sup>

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.

## Список литературы

1.

Hippocrates (400 B. C.) Hippocratic writings (Francis Adams, trans.). In: Adler M. J. (ed.) The great books of the western world (1952 ed., V 10, P 159). Chicago: Encyclopaedia Britannica, Inc. (Издание сочинений Гиппократ на русском языке: Гиппократ. Избранные книги / пер. с греч. Руднева В. И. М.: Издательство биологической и медицинской литературы, 1936. Глава “О священной болезни”. С. 509. – Здесь и далее, если не указано иное, прим. ред.)

2.

Doyle A. C. (1892) Silver blaze. In: The complete Sherlock Holmes (1930 ed., V. 1, P. 335). Garden City, NY: Doubleday & Company, Inc. (Перевод рассказа на русский язык см., например, здесь: Дойл А. К. Серебряный / пер. Жуковой Ю. // Записки о Шерлоке Холмсе: Сборник / пер. с англ. Минск: Польша, 1984. – Прим. перев.)

3.

Lashley K. S. (1929) Brain mechanisms and intelligence: a quantitative study of injuries to the brain. Chicago: University of Chicago Press. (Издание на русском языке: Лешли К. С. Мозг и интеллект / пер. с англ. Нусенбаума А. А. М.: Огиз-Соцэкгиз, 1933.)

4.

Watson J. B. (1930) Behaviorism (Rev. ed., P. 82). Chicago: University of Chicago Press.

5.

Weiss P. A. (1934) In vitro experiments on the factors determining the course of the outgrowing nerve fiber. *Journal of Experimental Zoology*. 68 (3): 393–448.

6.

Sperry R. W. (1963) Chemoaffinity in the orderly growth of nerve fiber patterns and connections. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 50 (4): 703-710.

7.

Hebb D. O. (1949) The organization of behavior: a neuropsychological theory (P. 62). NY: Wiley.

8.

Hebb D. O. (1947) The effects of early experience on problem solving at maturity. *American Psychologist*. 2: 306-307.

9.

Ford F. R., Woodall B. (1938) Phenomena due to misdirection of regenerating fibers of cranial, spinal and autonomic nerves. *Archives of Surgery*. 36 (3): 480-496.

10.

Sperry R. (1939) The functional results of muscle transposition in the hind limb of the rat. *The Journal of Comparative Neurology*. 73 (3): 379-404.

11.

Sperry R. (1943) Functional results of crossing sensory nerves in the rat. *The Journal of Comparative Neurology*. 78 (1): 59-90.

**12.**

Sperry R. W. (1963) Chemoaffinity in the orderly growth of nerve fiber patterns and connections. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 50 (4): 703-710.

**13.**

Pomerat C. M. (1963) Activities associated with neuronal regeneration. *The Anatomical Record*. 145 (2): 371.

**14.**

Krubitzer L. (2009) In search of a unifying theory of complex brain evolution. *Annals of the New York Academy of Science*. 1156: 44-67.

**15.**

Marler P., Tamura M. (1964) Culturally transmitted patterns of vocal behavior in sparrows. *Science*. 146 (3650): 1483-1486.

**16.**

Jerne N. (1967) Antibodies and learning: selection versus instruction. *The neurosciences: a study program* (P. 200-205). NY: Rockefeller University Press.

**17.**

Boag P. T., Grant P. R. (1981) Intense natural selection in a population of Darwin's finches (*Geospizinae*) in the Galapagos. *Science*. 214 (4516): 82-85.

**18.**

Sin W. C. et al. (2002) Dendrite growth increased by visual activity requires NMDA receptor and Rho GTPases. *Nature*. 419 (6906): 475-480.

**19.**

Riout-Pedotti M. S. et al. (2007) Plasticity of the synaptic modification range. *Journal of Neurophysiology*. 98 (6): 3688-3695.

**20.**

Xu T. et al. (2009) Rapid formation and selective stabilization of synapses for enduring motor memories. *Nature*. 462 (7275): 915919.

**21.**

BAILLARGEON R. E. (1987) Object permanence in 3 1/2- and 4 1/2-month-old infants. *Developmental Psychology*. 23 (5): 655-664.

**22.**

См.: Spelke E. S. (1991) Physical knowledge in infancy: reflections on Piaget's theory. In: Carey S., Gelman R. (eds.) *The epigenesis of mind: essays on biology and cognition* (P. 133-169). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; а также Spelke E. S. (1994) Initial knowledge: six suggestions. *Cognition*. 50: 443-447.

**23.**

Purves D. et al. (2004) Perceiving the intensity of light. *Psychological Review*. 111 (1): 142-158.

**24.**

Purves D. An empirical explanation: simultaneous brightness contrast. См.: <http://purveslab.net/simultaneous-brightness-contrast/>

**25.**

Lovejoy C. O. et al. (2009) Combmmgprehension and propulsion: the foot of *Ardipithecus ramidus*. *Science*. 326 (5949): 72, 72e1-72e8.

**26.**

Festinger L. (1983) *The human legacy* (P. 4). NY: Columbia University Press.

**27.**

Lovejoy C. O. (2009) Reexamining human origins in light of *Ardipithecus ramidus*. *Science*. 326 (5949): 74, 74e1-74e8.

**28.**

Darwin C. (1871) *The descent of man, and selection in relation to sex*. London: John Murray (Facsimile ed., 1981, Princeton, NJ: Princeton University Press). (Дарвин Ч. Происхождение человека и половой отбор / пер. с англ. Соч. Т. 5. М., 1953.)

**29.**

Huxley T. H. (1863) *Evidence as to man's place in nature*. London: Williams and Morgate (Reissued, 1959, Ann Arbor: University of Michigan Press). (Гексли Т. Г. О положении человека в ряду органических существ / пер. с англ. под ред. Бекетова А. СПб., 1864.)

**30.**

Holloway R. L. (1966) Cranial capacity and neuron number: a critique and proposal. *American Journal of Physical Anthropology*. 25 (3): 305-314.

**31.**

Holloway R. L. (2008) The human brain evolving: a personal retrospective. *Annual Review of Anthropology*. 37: 1-19.

**32.**

См.: Preuss T. M. et al. (1999) Distinctive compartmental organization of human primary visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 96 (20): 11601-11606; а также Preuss T. M., Coleman G. Q. (2002) Human-specific organization of primary visual cortex: alternating compartments of dense Cat-301 and calbindin immunoreactivity in layer 4A. *Cerebral Cortex*. 12 (7): 671-691.

**33.**

De Winter W., Oxnard C. E. (2001) Evolutionary radiations and convergences in the structural organization of mammalian brains. *Nature*. 409: 710-714.

**34.**

Oxnard C. E. (2004) Brain evolution: mammals, primates, chimpanzees, and humans. *International Journal of Primatology*. 25 (5): 1127-1158.

**35.**

Rakic P. (2005) Vive la difference! *Neuron*. 47 (3): 323-325.

**36.**

Premack D. (2007) Human and animal cognition: continuity and discontinuity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104 (35): 13861-13867.

**37.**

Azevedo F. A. C. et al. (2009) Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain. *Journal of Comparative Neurology*. 513 (5): 532-541.

**38.**

Shariff G. A. (1953) Cell counts in the primate cerebral cortex. *Journal of Comparative Neurology*. 98 (3): 381-400.

**39.**

Deacon T. W. (1990) Rethinking mammalian brain evolution. *American Zoology*. 30 (3): 629-705.

**40.**

Ringo J. L. (1991) Neuronal interconnection as a function of brain size. *Brain, Behavior and Evolution*. 38 (1): 1-6.

**41.**

Petersen S. E. et al. (1988) Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature*. 331 (6157): 585-589.

**42.**

Preuss T. M. (2001) The discovery of cerebral diversity: an unwelcome scientific revolution. In: Falk D., Gibson K.R. (eds.) *Evolutionary anatomy of the primate cerebral cortex* (P. 154). Cambridge: Cambridge University Press.

**43.**

Hutsler J. J. et al. (2005) Comparative analysis of cortical layering and supragranular layer enlargement in rodent carnivore and primate species. *Brain Research*. 1052: 71-81.

**44.**

См.: Caviness V. S. et al. (1995) Numbers, time and neocortical neurogenesis: a general developmental and evolutionary model. *Trends in Neuroscience*. 18 (9): 379-383; Fuster J. M. (2003) Neurobiology of cortical networks. In: *Cortex and mind* (P. 17-53). NY: Oxford University Press; а также Jones E. G. (1981) Anatomy of cerebral cortex: columnar input-output organization. In: Schmitt F. O. et al. (eds.) *The organization of the cerebral cortex* (P. 199-235). Cambridge, MA: The MIT Press.

**45.**

Hutsler J. J., Galuske R. A. W. (2003) Hemispheric asymmetries in cerebral cortical networks. *Trends in Neuroscience*. 26: 429-435.

**46.**

Elston G. N., Rosa M. G. P. (2000) Pyramidal cells, patches and cortical columns: a comparative study of infragranular neurons in TEO, TE, and the superior temporal polysensory area of the macaque monkey. *The Journal of Neuroscience*. 20 (24): RC117.

**47.**

Elston G. N. (2003) Cortex, cognition and the cell: new insights into the pyramidal neuron and prefrontal function. *Cerebral Cortex*. 13 (11): 1124-1138.

**48.**

Rilling J. K., Insel T. R. (1999) Differential expansion of neural projection systems in primate brain evolution. *Neuroreport*. 10 (7): 1453-1459.

**49.**

См.: Buxhoeveden D., Casanova M. (2000) Comparative lateralisation patterns in the language area of human, chimpanzee, and rhesus monkey brains. *Laterality*. 5 (4): 315-330; а также Gilissen E. (2001) Structural symmetries and asymmetries in human and chimpanzee brains. In: Falk D., Gibson K. R. (eds.) *Evolutionary anatomy of the primate cerebral cortex* (P. 187-215). Cambridge: Cambridge University Press.

**50.**

Vermeire B., Hamilton C. R. (1998) Inversion effect for faces in split-brain monkeys. *Neuropsychologia*. 36 (10): 1003-1014.

**51.**

Halpern M. E. et al. (2005) Lateralization of the vertebrate brain: taking the side of model systems. *Journal of Neuroscience*. 25 (35): 10351-10357.

**52.**

См. обзор: Hutsler J. J., Galuske R. A. W. (2003) Hemispheric asymmetries in cerebral cortical networks. *Trends in Neuroscience*. 26 (8): 429-435.

**53.**

Black P., Myers R. E. (1964) Visual function of the forebrain commissures in the chimpanzee. *Science*. 146 (3645): 799-800.

**54.**

Pasik P., Pasik T. (1982) Visual functions in monkeys after total removal of visual cerebral cortex. In: Neff W. D. (ed.) *Contributions to sensory physiology* (V. 7, P. 147–200). NY: Academic Press.

**55.**

Rilling J. K. et al. (2008) The evolution of the arcuate fasciculus revealed with comparative DTI. *Nature Neuroscience*. 11 (4): 426-428.

**56.**

Preuss T. M. (2003) What is it like to be a human? In: Gazzaniga M. S. (ed.) *The cognitive neurosciences III* (P. 14-15). Cambridge, MA: The MIT Press.

**57.**

Elston G. N. (2003) Cortex, cognition and the cell: new insights into the pyramidal neuron and prefrontal function. *Cerebral Cortex*. 13 (11): 1124-1138.

**58.**

Elston G. N. et al. (2006) Specializations of the granular prefrontal cortex of primates: implications for cognitive processing. *The Anatomical Record*. 288A (1): 26-35.

**59.**

Williamson A. et al. (1993) Comparison between the membrane and synaptic properties of human and rodent dentate granule cells. *Brain Research*. 622 (1-2): 194-202.

**60.**

Nimchinsky E. A. et al. (1995) Spindle neurons of the human anterior cingulate cortex. *Journal of Comparative Neurology*. 355 (1): 27-37.

**61.**

Fajardo C. et al. (2008) Von Economo neurons are present in the dorsolateral (dysgranular) prefrontal cortex of humans. *Neuroscience Letters*. 435 (3): 215-218.

**62.**

Nimchinsky E. A. et al. (1999) A neuronal morphologic type unique to humans and great apes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 96 (9): 5268-5273.

**63.**

Allman J. M. et al. (2005) Intuition and autism: a possible role for von Economo neurons. *Trends in Cognitive Science*. 9 (8): 367-373.

**64.**

Hakeem A. Y. et al. (2009) Von Economo neurons in the elephant brain. *The Anatomical Record*. 292 (2): 242-248.

**65.**

Hof P. R., van der Gucht E. (2007) Structure of the cerebral cortex of the humpback whale, *Megaptera novaeangliae* (Cetacea, Mysticeti, Balaenopteridae). *The Anatomical Record*. 290 (1): 1-31.

**66.**

Butti C. et al. (2009) Total number and volume of von Economo neurons in the cerebral cortex of cetaceans. *Journal of Comparative Neurology*. 515 (2): 243-259.

**67.**

Bystron I. et al. (2006) The first neurons of the human cerebral cortex. *Nature Neuroscience*. 9: 880-886.

**68.**

Galton F. (1879) Psychometric experiments. *Brain*. 2: 149-162.

**69.**

Caramazza A., Shelton J. R. (1998) Domain-specific knowledge systems in the brain: the animate-inanimate distinction. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 10 (1): 1-34.

**70.**

Boyer P., Barrett H. C. (2005) Domain specificity and intuitive ontology. In: Buss D. M. (ed.) *The handbook of evolutionary psychology* (P. 96-118). NY: Wiley.

**71.**

Barrett H. C. (2005) Adaptations to predators and prey. In: Buss D. M. (ed.) *The handbook of evolutionary psychology* (P. 200-223). NY: Wiley.

**72.**

Coss R. G. et al. (1993) Development of antisnake defenses in California ground squirrels (*Spermophilus beecheyi*): II. Microevolutionary effects of relaxed selection from rattlesnakes. *Behaviour*. 124 (1-2): 137-164.

**73.**

См: Stamm J. S., Sperry R. W. (1957) Function of corpus callosum in contralateral transfer of somesthetic discrimination in cats. *Journal of Comparative Physiological Psychology*. 50 (2): 138-143; а также Glickstein M., Sperry R. W. (1960) Intermanual somesthetic transfer in split-brain rhesus monkeys. *Journal of Comparative Physiological Psychology*. 53 (4): 322-327.

**74.**

Akelaitis A. J. (1945) Studies on the corpus callosum: IV. Diagnostic dyspraxia in epileptics following partial and complete section of the corpus callosum. *American Journal of Psychiatry*. 101: 594-599.

**75.**

См.: Gazzaniga M. S. et al. (1962) Some functional effects of sectioning the cerebral commissures in man. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 48 (10): 1765-1769; Gazzaniga M. S. et al. (1963) Laterality effects in somesthesia following cerebral commissurotomy in man. *Neuropsychologia*. 1: 209-215; Gazzaniga M. S. et al. (1965) Observations on visual perception after disconnection of the cerebral hemispheres in man. *Brain*. 88: 221-236; а также Gazzaniga M. S., Sperry R. W. (1967) Language after section of the cerebral commissures. *Brain*. 90: 131-348.

**76.**

Van Wagenen W. P., Herren R. Y. (1940) Surgical division of commissural pathways in the corpus callosum: relation to spread of an epileptic attack. *Archives of Neurology and Psychiatry*. 44 (4): 740-759.

**77.**

Akelaitis A. J. (1941) Studies on the corpus callosum: II. The higher visual functions in each homonymous field following complete section of the corpus callosum. *Archives of Neurology and Psychiatry*. 45 (5): 788-796.

**78.**

Sperry R. (1984) Consciousness, personal identity and the divided brain. *Neuropsychologia*. 22 (6): 661-673.

**79.**

Kutas M. et al. (1990) Late positive event-related potentials after commissural section in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2 (3): 258-271.

**80.**

Gazzaniga M. S. et al. (1967) Dyspraxia following division of the cerebral commissures. *Archives of Neurology*. 16 (6): 606-612.

**81.**

См.: Nass R. D., Gazzaniga M. S. (1987) Cerebral lateralization and specialization in human central nervous system. In: Plum F. (ed.) *Handbook of physiology* (Sec. 1, V. 5, P. 701761). Bethesda, MD: American Physiological Society; а также Zaidel E. (1990) Language functions in the two hemispheres following cerebral commissurotomy and hemispherectomy. In: Boller F., Grafman J. (eds.) *Handbook of neuropsychology* (V. 4, P. 115–150). Amsterdam: Elsevier.

**82.**

Gazzaniga M. S., Smylie C. S. (1990) Hemispheric mechanisms controlling voluntary and spontaneous facial expressions. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2 (3): 239-245.

**83.**

Sperry R. W. (1968) Hemisphere disconnection and unity in conscious awareness. *American Psychologist*. 23 (10): 723-733.