

Себастьян Сеунг

КОННЕКТОМ



Как мозг
делает нас тем,
что мы есть

Себастьян Сеунг

Коннектом. Как мозг делает нас тем, что мы есть

Серия «Universum»

Текст предоставлен правообладателем

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=11302536

Коннектом. Как мозг делает нас тем, что мы есть / С. Сеунг:

Лаборатория знаний; Москва; 2021

ISBN 978-5-93208-525-7

Аннотация

Что такое человек? Какую роль в формировании личности играют гены, а какую – процессы, происходящие в нашем мозге? Сегодня ученые считают, что личность и интеллект определяются коннектомом, совокупностью связей между нейронами. Описание коннектома человека – невероятно сложная задача, ее решение станет не менее важным этапом в развитии науки, чем расшифровка генома, недаром в 2009 году Национальный институт здоровья США запустил специальный проект – «Коннектом человека», в котором сегодня участвуют уже ученые многих стран.

В своей книге Себастьян Сеунг, известный американский ученый, профессор компьютерной нейробиологии Массачусетского технологического института, рассказывает

о самых последних результатах, полученных на пути изучения коннектома человека, и о том, зачем нам это все нужно.

В формате PDF A4 сохранён издательский дизайн.

Содержание

Введение	7
Часть первая	31
Глава 1 Гениальность и безумие	31
Глава 2 Пограничные конфликты	67
Конец ознакомительного фрагмента.	81

Себастьян Сеунг

Коннектом. Как мозг делает нас тем, что мы есть

Sebastian Seung

Connectome

How the Brain's Wiring Makes

Us Who We Are

Издание опубликовано по договоренности с Levine Greenberg Literary Agency, Inc. и литературным агентством «Синописис».

Деривативное издание на основе печатного аналога: Коннектом. Как мозг делает нас тем, что мы есть / С. Сеунг ; пер. с англ. А. Капанадзе. – 4-е изд. – М. : Лаборатория знаний, 2018. – 440 с. : ил. – (Universum). – ISBN 978-5-00101-092-0.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации

Copyright © 2012 by Sebastian Seung

© Перевод на русский язык, оформление. Лаборатория
знаний

* * *

UNIVERSUM

О науке, ее прошлом и настоящем, о великих открытиях,
борьбе, идей и судьбах тех, кто, посвятил свою жизнь поиску
научной Истины

*Дорогой матери и дорогому отцу, которые
создали мой геном и вылепили мой коннектом*

Введение

Ни дороге, ни тропинке не пробраться сквозь этот лес. Длинные, тонкие, гибкие ветви деревьев распространились повсюду, заполняя всё пространство благодаря своему безудержному росту. Даже солнечному лучу не под силу осветить узкие промежутки между переплетенными ветвями. Все деревья в этом темном лесу выросли из ста миллиардов семян, посеянных вместе. И каждое дерево обречено умереть в тот же день, что и его собратья.

Это волшебный лес. В нем есть всё. Более того, иногда мне кажется, что он – вообще всё на свете. Каждая книга и каждая симфония, каждое безжалостное убийство и каждый акт милосердия, любовные утехи и жаркие ссоры, шутки и горести, – всё берет начало именно в этом лесу.

Как ни удивительно, лес этот уместается в емкости диаметром меньше фута. И подобных лесов на Земле семь миллиардов. Случилось так, что и вам выпало присматривать за таким. Речь идет о лесе, который произрастает внутри вашего черепа. А деревья в лесу – особые клетки, именуемые нейронами. Задача нейробиологии¹ – исследовать

¹ В последние 5–6 лет в отечественной научно-популярной литературе всё чаще встречается термин «нейронаука», прямая калька с английского термина «neuroscience». Нейронаука не ограничивается собственно биологией и может включать в себя, например, нейропсихологию. В дальнейшем мы будем в зави-

эти загадочные ветви, приручить джунгли нашего сознания (см. рис. 1).

Нейробиологи уже начали подслушивать звуки этих джунглей – электрические сигналы в мозгу. Ученые сумели запечатлеть фантастические формы леса с помощью скрупулезных рисунков и точнейших фотографий нейронов. Но можно ли понять весь гигантский лес по нескольким разрозненным деревьям?

симости от контекста использовать термины «нейробиология», «нейрофизиология» и лишь изредка – более обобщенный термин «нейронаука». (*Здесь и далее – примечания переводчика.*)

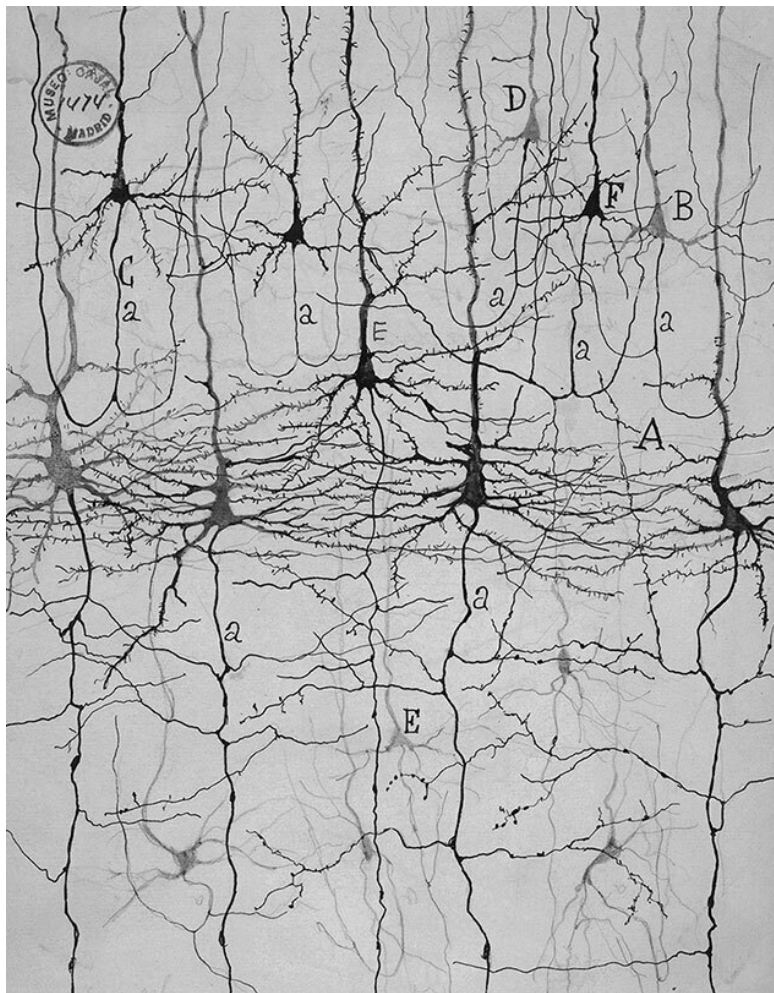


Рис. 1. Джунгли сознания: нейроны коры головного моз-

га, окрашенные по методу Камилло Гольджи (1843–1926) и зарисованные Сантьяго Рамоном-и-Кахалем (1852–1934)²

В XVII веке французский философ и математик Блез Паскаль писал о необъятности Вселенной:

Пусть человек созерцает Природу во всем ее обширном великолепии; пусть отстранит от своих глаз низменные предметы, что окружают его, и увидит ослепительный свет, озаряющий мир подобно вечному маяку; пусть Земля предстанет перед ним как малая точка, лежащая в границах огромного круга, описываемого этой звездой, и пусть он затрепещет при мысли, что эта бескрайняя окружность сама по себе кажется лишь малой песчинкой с точки зрения тех звезд, что движутся по небосводу.

Пораженный и смущенный этими раздумьями, Паскаль признавался, что его страшит «вечное безмолвие этих бесконечных пространств». Он размышлял о пространстве *внешнем*, о космосе, однако нам достаточно мысленно обратиться внутрь себя, чтобы разделить его страх. У каждого из нас внутри черепа располагается орган столь неизмеримо сложный, что его вполне можно назвать бесконечным.

Я сам нейробиолог и в свое время лично ощутил этот паскалевский ужас. Ощущал я и связанное с ним смущение. Иногда мне приходится публично выступать, расска-

² Подробнее о Гольджи и Кахале см. в главе 8.

зывая о положении дел в нашей сфере науки. После одного из таких выступлений меня буквально засыпали вопросами. Что вызывает депрессию и шизофрению? В чем необычность мозга Эйнштейна или Бетховена? Как научить моего ребенка лучше читать? Мои ответы не удовлетворили слушателей, и я увидел разочарование на их лицах. Наконец я со стыдом извинился перед аудиторией. «Простите, – сказал я. – Вы подумали, что я профессор, поскольку многое знаю. Но на самом деле я профессор, потому что знаю, как многого я *не знаю*».

Попытки изучить такой сложный объект, как мозг, могут показаться едва ли не тщетными. Миллиарды его нейронов напоминают деревья множества пород и имеют фантастические очертания. Лишь самые целеустремленные исследователи надеются хотя бы одним глазком заглянуть внутрь этого леса, но даже они видят очень мало и очень плохо. Неудивительно, что мозг остается загадкой. Моих слушателей интересовали дефектные или гениальные мозги, но даже обычная работа обычного мозга еще ждет своего исчерпывающего объяснения. Каждый день мы вспоминаем прошлое, воспринимаем настоящее, воображаем будущее. Каким образом наш мозг справляется со столь непростыми задачами? Пожалуй, тут есть пока лишь один уверенный ответ: никто этого по-настоящему не знает.

Устрашенные сложностью человеческого мозга, многие нейробиологи предпочли изучать животных, поскольку ней-

ронов у них значительно меньше, чем у человека. Червь, изображенный на рис. 2, лишен того органа, который мы именуем мозгом. Нейроны у него рассеяны по всему телу, а не сосредоточены в отдельном органе. Вместе они образуют нервную систему, состоящую всего из трех сотен нейронов. Что ж, с этим еще можно попробовать справиться. Наверняка даже Паскаль, с его склонностью к депрессии при мысли о бесконечной сложности природы, не испугался бы нейронного леса червя *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) – так по-научному называется этот червячок длиной всего один миллиметр.



Рис. 2. Круглый червь *C. elegans*

Каждый нейрон этого червя имеет характерное местоположение, форму и даже имя, присвоенное специалистами. Черви в чем-то подобны станкам, массово изготавливаемым на конвейере. У любого имеется нервная система, состоящая из одного и того же набора деталей, и эти детали всегда рас-

положены одинаково.

Более того, существует полная карта этой стандартизированной нервной системы. Результат (см. рис. 3) напоминает летную карту из тех, что встречаются на последних страницах журналов, выпускаемых авиакомпаниями. Четырехбуквенное имя каждого нейрона похоже на буквенный код, имеющийся у каждого аэропорта мира (правда, аэропортам присваивают трехбуквенные). Линии отражают *связи* между нейронами, подобно тому как линии на летной карте соответствуют маршрутам между городами. Мы называем два нейрона «связанными», если в точке, где они соприкасаются, есть небольшой стык, сочленение, именуемое *синапсом*. Через синапс один нейрон отправляет послания другому.

Инженеры знают: для того, чтобы сделать радиоприемник, нужно определенным образом соединить проводами различные детали – резисторы, конденсаторы, транзисторы. Нервная система представляет собой набор нейронов, связанных «проводами» – тонкими ветвями, о которых мы говорили выше. Вот почему карту, показанную на рис. 3, первоначально называли «монтажной схемой» или «схемой подключения». Недавно появился новый термин – *коннектом*. Это слово ассоциируется не с электротехникой, а с геномикой. Вероятно, вы слышали про ДНК – длинную молекулу, напоминающую цепь. Отдельные звенья этой цепи – *нуклеотиды*, небольшие молекулы четырех типов, обозначаемые

жество. Это *все* связи. Ваш мозг в принципе можно исчерпывающе описать такой же диаграммой, как и для червя *C. elegans*, только эта диаграмма будет куда сложнее. Позволит ли ваш коннектом узнать о вас что-нибудь интересное?

```
11 genomic contig, GRCh37.p5 Primary Assembly
GAATTTCACATTAGAAAAATAAACCATAGCCTCATCACAGGCACTTAAATACACTGAAGCTGCCAAAACA
ATCTATCGTTTTGCSCTACGTACTTATCAACTTCCTCATAGCAAACCTGGGAGAAAAAGCAATGGAATGAA
TAAAATGATAGCCSACAAAAATCAAGGTGGGAGAAAATACTTATATATGTCCATAAAAAATTTTAAATTAAT
GCAAAAGTATTAACACCAATGATTCAGTAATAACAGATCTTACAATGATAGTTTTAGTCTGAACAGGACT
ATCCAAAAGTTAAATTTTCTATAGTAACAGTTTTTAAATAAAAATATCAATTCTGAAACASATAAAATGGT
CCATGAGTATACAAACGAGTGAAAAAAAACAAAATTCAGAGCAAAGATAAATTAAGAAGTATCTAATATTTCA
AACATAGTCAAAGAGAGGGAGATTTCTGGATAATCACTTAAAGCCCATGGTTAAACATAAATGCAAAATATG
TTAATGTTTACTGAATAACTTATCTGTGCGCAAGTGGTGTATTAATGATTCATTTTTATTTTTTCACTAAAT
CTTTTTCTSTAAAGTTGGTGTAGCCTGCAACTAAATGCAAGAAATCTGCCTTAGGACCTGCACTTCTTACC
ATTTTGCTCATATTTATCTCCCTGTGCATTTTTGTAACATGTATATGTTATATATATAGAAAGAGAGAGAG
GCAGAGATGGAAGTAATTTATGGAGTTTGATGTTATGTCCAGGTAATTCATGATTATATAAATTAACAG
GTTTCTTTTTAAATCAGSTATATCAATAGAAAAATAAATGTAGGAATCAAGAGACTATTCTGTCCATCT
GTGATAGTTCATCATGATACTGCATTGTCAAGTCATTGCTCCAAAAATATGGTTTAGCTCAACACTGAG
TGACTATAGGAAACCAGAAACCAGGCTGGGCGCTAAAGATGCAAAGATGAATGAGACATCATCTCTGCCG
TCCAAAAGCTTACTGTCTAGTGGGAGAGTTACACACGTAAGGACAGTAATCTAATAAGAGCTAATAAGTG
AAAACSTAAGATAAAATTAATAACAAGATTACAGGGAAGGTTTCCAAAGTCAATGAGGCCSTCAAAATGAAT
CTTGAAAGTGTGCAAGGATTAACCAAATGAAGAAATGTGTAAGTTTTTCAAACAAGAAAGAACAGCATGA
GCAAAATGCAAGGAGGCSTAAAAATAAAGAGATGTGTAAGAGAGGTGTAAGCAGCTTTGTGCTACTGCCTGAT
AATTAGAAGAATATCGGGAGTAACAAGAGCTATAGAAGAGAGTCSAATATGGAAAAAATATTTATTTAAA
TTATAAGAAAATTTATAGCATAAGGAATAGTAGGACCATTAATGTTTTTAAATAAAGATGATGCTTCTTTTT
TAATATTTATTTTATATATATCTTAAAGTCTTAGGGTACATGTGCACAACGTCAGGTTACATATGTATAC
ATGTGCCGTGTTGGTGTGCTGCACCCATTAACATCATCTATTACATTAGGTATGTCTCCTAATGCTATCCC
TCCCCCTCCCCCAACCCSACAACAGGCCGCGGTGTGTGATATCCCCCTCTGTGTCCAAGTGTCTCA
TTGTTCAAGTCCSACSTATGAGTGAAAACATGCGGTGTTTGGTTTTTGTCTTGAGATAGATGATGCTT
TAAATTGACCACTTAGTGTGCATTGTGGGAGGAAAAAAGATTTTAAACAAGACTAGAAAACAGAATAAT
TAGAAAAATGCAACTACAATGCAGATGAGTGATTATCAAGGTCTGAACCTGAATAGTGGAAATAGAGATAA
```

Рис. 4. Небольшой фрагмент человеческого генома

Прежде всего, он сообщит вам, что вы уникальны. Конечно, вы и так это знаете, но раньше было на удивление непросто указать, в чем же конкретно заключается ваша уникальность. Ваш коннектом очень отличается от моего.

Они не стандартны, как у червей. Это вполне согласуется с идеей, что каждый человек уникален. Такого рода уникальностью черви не обладают (попрошу червей не обижаться).

Различия зачаровывают. Когда мы задаемся вопросом, как функционирует мозг, больше всего нас обычно занимает, почему мозг разных людей работает столь по-разному. Почему я не могу быть общительнее, уподобившись моему другу-экстраверту? Почему моему сыну чтение дается труднее, чем его одноклассникам? Почему моя кузина-подросток вдруг начала слышать воображаемые голоса? Почему моя мать теряет память? Почему моя жена (муж) не может проявлять больше понимания и сострадания? Почему сам (сама) я этого не могу?

В этой книге предлагается очень простая теория: *мы разные, потому что разные наши коннектомы*. Эта теория сквозит в газетных заголовках типа «В мозгу аутиста иная схема связей». Черты характера, коэффициент интеллектуального развития (IQ) – всё это, возможно, тоже удастся объяснить посредством теории коннектомов. А может быть, в вашем коннектоме закодированы даже ваши воспоминания – наиболее уникальная часть вашей личности, присущая только вам и больше никому.

Теория эта циркулирует в научных кругах уже довольно давно, однако нейробиологи до сих пор не знают, верна ли она. Но область ее возможного применения, безусловно, колоссальна. Если теория окажется справедливой, лече-

ние психических расстройств сведется к «ремонту» коннектомов. Собственно говоря, любые виды личностных изменений (когда вы учитесь чему-то новому, или начинаете меньше пить, или пытаетесь спасти рассыпающийся брак) напрямую связаны с изменением вашего коннектома.

Впрочем, давайте рассмотрим альтернативную теорию: *мы разные, потому что у нас разные геномы*. Иными словами, мы таковы, каковы мы есть, благодаря нашим генам. Уже наступает новая эпоха, когда становится доступной полная карта личного генома. Геномика достигла невероятных высот. Скоро мы сможем быстро и недорого узнавать полную последовательность букв собственной ДНК. Мы знаем, что гены играют свою роль в возникновении психических заболеваний и вносят свой вклад в обычные (не патологические) изменения личности и IQ. Но тогда зачем изучать коннектомы?

Ответ прост. Сами по себе гены не способны объяснить, почему ваш мозг стал именно таким. В материнской утробе вы уже обладали всем своим геномом, но тогда у вас еще не было, скажем, воспоминания о первом поцелуе. Воспоминания приобретаются в течение жизни, а не до ее начала. Кто-то из вас умеет играть на пианино или кататься на велосипеде. Это приобретенные способности, а не инстинкты, программируемые генами.

В отличие от генома, который «зафиксирован» начиная с момента зачатия, ваш коннектом *меняется* на протяжении

всей жизни. Нейробиологи уже сумели установить основные типы таких изменений. Нейроны изменяют «удельный вес» связей между собой, усиливая или ослабляя их. Нейроны заново соединяются, создавая или уничтожая синапсы (это называется рекомбинацией связей), они «переподключаются», отращивая или отводя ветви. Наконец, путем регенерации возникают совершенно новые нейроны, а существующие могут отмирать.

Мы не знаем, как именно меняют ваш коннектом события вашей жизни – скажем, развод ваших родителей или тот чудесный год, который вы провели за границей. Но существуют веские доказательства, что *четыре процесса* коннектомных изменений – изменение удельного веса существующих связей, их рекомбинация, переподключение, регенерация, – находятся под влиянием того, что вы переживаете. Однако они, эти четыре процесса, управляются и генами. На сознание человека действительно влияют гены, особенно в младенческие и в детские годы, когда мозг еще только выстраивает свою «монтажную схему».

Ваш коннектом сформировали и гены, и жизненный опыт. И нам следует учитывать обе эти разновидности «исторического» воздействия, если мы хотим объяснить, каким образом ваш мозг стал таким, каким стал. Коннектомная теория различий сознания и мышления совместима с генетической теорией, однако она гораздо богаче и сложнее, поскольку отражает влияние нашего жизненного опыта. Кроме того,

коннектомная теория менее детерминистична, то есть в ней делается меньший упор на предопределенность. Есть основания считать, что мы формируем собственный коннектом благодаря действиям, которые предпринимаем, даже благодаря тому, что мы думаем. Возможно, «монтажная схема» мозга действительно делает нас теми, кто мы есть, однако мы сами играем важную роль в налаживании связей, возникающих у нас в мозгу. Эту теорию можно выразить проще:

Вы – больше, чем ваши гены. Вы – это ваш коннектом.

Если теория верна, то важнейшая задача нейробиологии – научиться управлять *четырьмя процессами*. Мы должны понять, какие изменения требуется внести в коннектом, чтобы добиться поведенческих изменений, на которые мы рассчитываем. А затем мы должны разработать средства для того, чтобы вызывать эти изменения коннектома. Если нам это удастся, нейробиология станет играть неопределимую роль в попытках справиться с психическими расстройствами, исцелять мозговые травмы и самосовершенствоваться.

Однако с учетом сложности и запутанности мозговых связей эта задача оказывается невероятно трудной. Составление карты для нервной системы *C. elegans* заняло десятков лет, хотя эта нервная система содержит всего 7 тысяч связей. Ваш коннектом в 100 миллиардов раз больше, и там в миллион раз больше связей, чем букв в вашем геноме. Геномы – просто детская забава по сравнению с коннектомами.

Сегодня наши технологии наконец становятся достаточно мощными для того, чтобы мы могли попытаться принять этот вызов. Управляя изошренными микроскопами, современные компьютеры способны накапливать и хранить колоссальные базы данных изображений мозга. Кроме того, они помогают анализировать гигантские потоки информации, чтобы создавать карты связей между нейронами. С помощью искусственного интеллекта мы, вероятно, наконец-то увидим те связи, которые так долго ускользали от нашего взора.

Я убежден, что еще до конца XXI века окажется возможным находить человеческие коннектомы⁴. Сначала мы двинемся от червей к мухам. Затем возьмемся за мышей, а потом уж за обезьян. И наконец примемся за самое сложное – человеческий мозг. Наши потомки будут с гордостью вспоминать эти достижения, считая их подлинной научной революцией.

Но действительно ли придется ждать многие десятилетия, прежде чем коннектомы поведают нам что-то о человеческом мозге? По счастью, нет. Наши технологии уже сейчас достаточно развиты, чтобы мы могли видеть связи в небольших фрагментах мозга, и даже это частичное знание полез-

⁴ Говоря о коннектомах, автор неизменно пользуется глаголом «найти». Важно отметить, что в узком смысле коннектом – не реально существующий наблюдаемый объект вроде черепной коробки или нейрона, а *умозрительная схема*, которую вычисляют («находят») на основании изучения нейронов и межнейронных связей. Собственно, такому изучению и посвящена книга.

но. Кроме того, мы многое можем выяснить, изучая мышей и крыс, наших близких родичей с точки зрения эволюции. Их мозг довольно похож на наш, а потому изучение связей в мышинном и крысином мозгах прольет свет и на то, что происходит в нашем.

* * *

В 79 году мощное извержение Везувия погребло древнеримский город Помпеи под тоннами вулканического пепла и лавы. Застыв во времени, Помпеи ждали почти две тысячи лет, прежде чем строители нового времени случайно наткнулись на них. Когда в XVIII веке археологи начали там раскопки, они с изумлением обнаружили своего рода моментальный снимок жизни древнеримского города: роскошные увеселительные виллы богачей, уличные фонтаны и общественные бани, бары, бордели, пекарню и рынок, гимназию и театр, фрески, изображающие повседневную жизнь, и повсюду – фаллические граффити. Находка этого мертвого города стала откровением, позволившим заглянуть в мельчайшие подробности античной жизни.

Пока мы готовы отыскивать коннектомы, лишь анализируя изображения *мертвого* мозга. Это своего рода археология мозга, обычно ее называют нейроанатомией. Целые поколения нейроанатомов глядели в свои микроскопы на холодные трупы нейронов, пытаясь представить себе их прошлое.

Мертвый мозг, с молекулами, закрепленными бальзамирующим раствором, являет собой памятник мыслям и чувствам, которые некогда жили внутри. До последнего времени нейроанатомия занималась, по сути, тем же, чем занимается археолог, воссоздавая быт древней цивилизации по фрагментарным находкам – монетам, гробницам, осколкам керамики. Но *коннектомы* станут подробными моментальными снимками мозга во всей его целостности: вспомним Помпеи, захваченные врасплох, остановленные на лету и погруженные в вечность. Такие снимки произведут настоящую революцию в том, что касается способности нейроанатомов воссоздавать картину функционирования живого мозга.

Вы можете спросить: зачем вообще изучать мертвый мозг, когда уже существуют всякие модные технологии для изучения мозга живого? Ведь мы узнаем больше, если отправимся в прошлое и станем изучать живые Помпеи! Нет, не обязательно. Скажем, при наблюдении за живым городом мы поневоле ограничены. К примеру, мы могли бы наблюдать за действиями одного жителя города, однако тогда нам пришлось бы закрыть глаза на действия всех остальных горожан. Еще пример: мы можем получить спутниковые изображения каждого городского района в инфракрасных лучах и узнать среднюю температуру, но подробностей мы не увидим. При таких ограничениях мы можем обнаружить, что исследование живого города, увы, дает меньше новой информации, чем мы надеялись.

Наши методы изучения живого мозга тоже имеют подобные ограничения. Вскрыв черепную коробку, мы увидим форму отдельных нейронов и сумеем измерить величину электрических сигналов, которые они передают, но это будет картинка лишь для крошечной доли нейронов мозга, а ведь их не один миллиард. Если же использовать неинвазивные (неразрушающие) методы проникновения в мозг для получения картины того, что находится внутри, мы не сможем увидеть отдельные нейроны, и нам придется удовлетвориться лишь приблизительной информацией о форме и активности различных зон мозга. Нельзя исключить вероятность, что какая-то высокоразвитая технология в будущем снимет эти ограничения, и мы научимся измерять характеристики каждого нейрона в *живом* мозге, но пока это лишь фантазии. Измерения в живом и мертвом мозге дополняют друг друга, и самый продуктивный подход, на мой взгляд, заключается в их продуманном сочетании.

Однако многие нейробиологи не согласны, что мертвый мозг вообще способен давать полезную информацию. Они утверждают, что единственно верный путь в нейронауке – это изучение живого мозга, ибо:

Вы – это деятельность ваших нейронов.

Под «деятельностью» здесь подразумевается передача нейронами электрических импульсов. Измерение этих сигналов предоставило массу свидетельств того, что нейронная активность в вашем мозгу кодирует ваши мысли, чувства

и восприятие в данный момент времени.

Как идея о том, что вы – это деятельность ваших нейронов, согласуется с мыслью о том, что вы – это ваш коннектом? Возможно, две концепции кажутся противоречивыми, но в действительности они вполне совместимы друг с другом, поскольку имеют дело просто с двумя различными представлениями о человеческом Я. Одно Я стремительно меняется от мгновения к мгновению, то сердясь, то веселясь, думая о смысле жизни и тотчас же – о хозяйственных заботах, глядя, как за окном падают листья, а в следующую секунду переключаясь на футбол, который идет по телевизору. Это Я переплетено с сознанием. Его текучая, протеичная природа берет начало в быстро меняющемся рисунке нейронной активности мозга.

Другое Я куда стабильнее. Оно сохраняет детские воспоминания на всем протяжении жизни. Это Я – то, что мы называем человеческой личностью. Его природа, как правило, неизменна и постоянна. Этот факт очень утешает ваших родных и друзей. Свойства этого Я проявляются, когда вы находитесь в здравом уме и трезвой памяти, однако продолжают существовать и в бессознательных состояниях – например, во сне. Это Я, подобно коннектому, со временем меняется довольно медленно. Я, чье существование вполне согласуется с идеей, что вы – это ваш коннектом.

Исторически сложилось так, что основное внимание всегда привлекало к себе сознательное Я. В XIX веке амери-

канский психолог Уильям Джеймс красноречиво рассуждал о потоке сознания, о бесконечной струе мыслей, текущей сквозь наш ум. Но Джеймс предпочел не замечать, что у каждого потока имеется русло. Без этой борозды в земле вода не знала бы, куда ей течь. Коннектом как раз и определяет пути, по которым осуществляется нейронная активность, и мы можем считать его руслом сознания.

Это многозначительная метафора. На протяжении длительного периода времени, подобно тому как вода медленно формирует свое русло, деятельность нейронов способствует изменению коннектома. Таким образом, эти две идеи Я – как быстро движущегося, постоянно меняющегося потока и как более стабильного, но медленно трансформирующегося русла, – неизбежным образом связаны между собой. Эта книга – о Я как о русле реки, о Я в коннектопе – о том Я, которым слишком долго пренебрегали.

* * *

На последующих страницах я изложу свои представления о новой сфере науки – *коннектомике*. Моя основная цель состоит в том, чтобы вообразить нейронауку будущего и поделиться своим воодушевлением по поводу того, что мы наверняка откроем. Как нам отыскать коннектомы, понять, что они означают, и разработать новые методы для того, чтобы их изменять? Однако мы не можем вычертить оптималь-

ный путь вперед, пока не поймем, откуда пришли, так что я начну с объяснения прошлого. Что мы уже знаем и в каком месте мы застряли?

В мозгу 100 миллиардов нейронов: этот факт ошеломляет даже самых бесстрашных исследователей. Одно из возможных решений здесь – это (как я объясню в первой части) вообще забыть о нейронах и разделить мозг на небольшое число зон. Нейробиологи многое узнали о функциях этих участков, интерпретируя симптомы различных повреждений мозга и его заболеваний. При развитии этого метода их вдохновляла появившаяся в XIX веке наука френология.

Френологи объясняли умственные и психические различия вариациями в *размере* мозга и его участков. Делая снимки мозга большого количества испытуемых, современные исследователи подтвердили эту концепцию. Ученые используют ее для объяснения различий в уровне интеллекта, а также при исследовании таких психических отклонений, как аутизм или шизофрения. Они нашли ряд убедительнейших доказательств того, что умы различны, поскольку мозг одного человека отличается от мозга другого. Однако это лишь статистические обоснования: средняя величина, вычисленная на основе изучения большого количества людей. Размеры мозга и его участков по-прежнему остаются практически бесполезными для предсказания умственных и психических особенностей отдельного индивидуума.

Это не просто формальное, техническое ограничение.

Оно фундаментально. Хотя френология приписывает отдельным участкам мозга те или иные функции, она не пытается объяснить, *каким образом* каждый участок эту функцию выполняет. А без этого мы не сумеем по-настоящему понять, почему та или иная зона мозга у одних работает необычайно хорошо, а у других барахлит. Мы можем – и обязаны – найти более логичный ответ, чем просто «это происходит из-за разницы в размерах».

Во второй части я представляю альтернативу френологии – так называемый *коннекционизм*. Эта теория также берет начало в XIX веке. Подход этот в идейном смысле более амбициозен: в его рамках делается попытка объяснить, как же, собственно, работают участки мозга. Коннекционисты рассматривают зону мозга не как некую элементарную ячейку, а как сложную сеть, которая состоит из множества нейронов. Связи в этой сети организованы таким образом, чтобы нейроны могли предпринимать коллективные действия того или иного рода, которые и лежат в основе нашего восприятия и наших мыслей. Организацию этих связей можно изменять, приобретая новый опыт, что и позволяет нам учиться и запоминать новое. Организацию этих связей формируют и гены, как описано в третьей части, так что генетическое воздействие на ум и сознание также можно объяснить в рамках предлагаемой теории. Эти идеи могут показаться весьма многообещающими, но следует иметь в виду: их никогда не подвергали корректной экспериментальной провер-

ке, которая давала бы убедительные результаты. Коннекционизм, несмотря на свою привлекательность с интеллектуальной точки зрения, так и не сумел стать настоящей наукой, поскольку нейробиологам всегда не хватало технологий, которые позволили бы должным образом картировать межнейронные связи.

Короче говоря, нейронауку обуздывает следующая дилемма. Идеи френологии можно проверить эмпирическим путем, однако они слишком упрощают картину. Коннекционизм – учение куда более изощренное, однако его идеи нельзя оценить экспериментально. Где выход из этого тупика? Мы должны искать коннектомы и учиться их использовать.

В четвертой части я делаю предположения, как этого можно достичь. Мы уже начали разрабатывать технологии для нахождения коннектомов, и я описываю современные устройства, которые скоро будут всюду трудиться в лабораториях по всему миру. Но что мы будем делать с коннектомами, когда их найдем? Первым делом мы воспользуемся ими для того, чтобы мысленно разбить мозг на участки, тем самым помогая неофренологам будущего. Мы разделим колоссальное множество нейронов мозга на типы, подобно тому как ботаники классифицируют деревья, разделяя их на виды. Это послужит удачным дополнением к геномному подходу в нейронауке, поскольку гены проявляют свое влияние на мозг во многом именно тем, что контролируют, как одни типы нейронов связываются с другими.

Коннектомы – как толстые книги, буквы в которых мы с трудом можем разглядеть. Более того, эти книги написаны на языке, который мы пока не понимаем. Когда наши технологии сделают видимой эту мелкую печать, мы постараемся понять, что означают напечатанные строчки, что записано в коннектомах, какие воспоминания там хранятся. И таким путем, после долгих усилий, мы в конце концов сумеем найти способ корректной экспериментальной проверки коннекционистских теорий.

Однако найти один-единственный коннектом недостаточно. Нам захочется отыскать множество коннектомов и сравнить их между собой, чтобы узнать, почему один ум отличается от другого и почему ум отдельного человека меняется с течением времени. Мы станем охотиться на *коннектопатии* – ненормальные картины нейронных связей, которые могут служить причиной таких психических отклонений, как аутизм или шизофрения. Кроме того, мы выясним, как на коннектомы воздействует наше обучение.

Вооруженные этими знаниями, мы разработаем новые методы изменения коннектомов. В наши дни наиболее эффективный путь здесь – традиционный: упражняться, меняя свое поведение и мысли. Однако методики обучения станут куда действеннее, если их подкрепить вмешательством на молекулярном уровне, которое будет способствовать изменению коннектомов согласно *четырем принципам*, о которых мы упоминали выше.

Новая наука не возникает в одночасье. Так происходит и с коннектомикой. Сегодня мы видим лишь начало пути, и впереди множество преград. Тем не менее в ближайшие десятилетия неизбежен победный марш наших технологий и того понимания, которое они нам дадут.

Коннектомы станут определяющим фактором в наших размышлениях о том, что такое быть человеком. Поэтому пятая часть завершается доведением науки до ее логического предела. Движение, именуемое трансгуманизмом, разработало сложнейшие схемы для преодоления человеческого в человеке, но в нашу ли пользу расклад? Имеют ли шансы на успех амбициозные идеи крионики, связанные с заморозкой мертвых и их последующим воскрешением? А как насчет смелой киберфантазии об оцифровке тела или мозга, чтобы мы могли жить по-настоящему долго и счастливо? Я постараюсь извлечь конкретные научные идеи из этих надежд и предложить способы их эмпирической проверки с помощью коннектомики.

Впрочем, не будем торопиться. Ни к чему раньше времени задумываться о посмертном существовании и загробном мире. Давайте начнем с размышлений о земной жизни. В частности, с вопроса, о котором мы упоминали выше, с вопроса, которым рано или поздно задается каждый: почему люди отличаются друг от друга?

Часть первая

Имеет ли значение размер?

Глава 1 Гениальность и безумие

В 1924 году близ Тура, города на реке Луаре, умер Анатолий Франс. Пока французский народ скорбел о знаменитом писателе, анатомы из местного медицинского колледжа исследовали его мозг и обнаружили, что весит он всего 1 килограмм – примерно на 25 % меньше средней для человека массы. Поклонников писателя огорчило это известие, однако не думаю, чтобы им следовало так уж удивляться. На фотографии (см. рис. 5) череп Анатоля Франса кажется совсем крошечным по сравнению с головой Тургенева.

Артур Кит, один из наиболее видных антропологов Англии, так выразил свое недоумение:

Хотя мы ничего не знаем о более тонкой структуре мозга Анатоля Франса, нам всё же известно, что с его помощью он совершал гениальные деяния, тогда как миллионы его соотечественников, с мозгом на 25 % или даже на 50 % крупнее, могли похвастаться лишь средними способностями обычного повседневного труженика.

Анатоль Франс, отмечает Кит, был «человеком средних габаритов», так что небольшие размеры его мозга нельзя списать на малые размеры всего тела. Далее Кит поясняет свое удивление:

Недостаточная связь между массой мозга и умственными способностями... всегда была для меня загадкой. Я знал... людей с чрезвычайно массивной головой и с наружностью мудреца, которые оказывались неспособны справиться с любыми испытаниями, какие им посылал мир; и я знал людей с небольшой головой, которые, подобно Анатолю Франсу, добивались в жизни выдающихся успехов.

Это признание Кита в собственном невежестве поразило меня своей откровенностью. Мысль об Анатоле Франсе как о нейро-Давиде, торжествующем над миром большеголовых голиафов, заставила меня улыбнуться. Как-то раз, на одном из научных семинаров, я вслух зачитал эти слова Кита. Присутствовавший на семинаре французский физик-теоретик лукаво заметил: «В конце концов, Анатоль Франс не был таким уж великим писателем». Аудитория рассмеялась – и рассмеялась снова, когда я напомнил, что его «дилетантская писанина» принесла ему в 1921 году Нобелевскую премию по литературе.



Иван Сергеевич Тургенев
(1818 – 1883)
Масса мозга – 2021 грамм



Анатоль Франс
(1844 – 1924)
Масса мозга – 1017 грамм

Рис. 5. Два знаменитых писателя, чей мозг после их смерти взвесили и исследовали

* * *

Случай Анатоля Франса показывает, что для отдельно-го человека размер мозга и уровень интеллекта не связа-ны между собой. Иными словами, нельзя использовать пер-вый параметр, чтобы с уверенностью предсказывать второй, если речь идет о каком бы то ни было человеке. Однако,

как выясняется, эти две характеристики имеют *статистическую связь*: она проявляется при анализе средних величин для большого количества людей. В 1888 году английский ученый Фрэнсис Гальтон, человек многостороннего таланта, опубликовал статью «К вопросу о размерах головы у студентов Кембриджского университета». Он разделил студентов на три категории по тем оценкам, которые они получали, и продемонстрировал, что средний размер головы у лучших студентов чуть больше, нежели у худших.

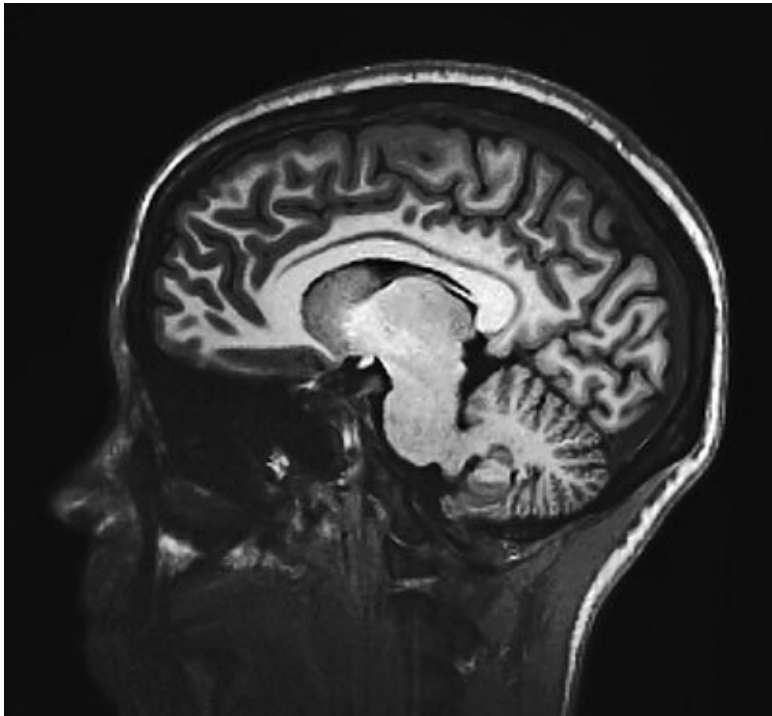


Рис. 6. Поперечное сечение мозга, полученное с помощью МРТ

В последующие годы проводилось много аналогичных исследований, методы которых становились всё более изощренными. На смену анализу оценок за учебу пришли стандартные тесты на интеллектуальные способности – тесты на IQ, как их обычно называют. Гальтон оценивал величину

головы, измеряя ее длину, ширину и высоту, а затем перемножая полученные числа. Другие исследователи измеряли окружность головы при помощи ленты-сантиметра. Самые отважные предпочитали извлекать мозг умерших и взвешивать его. Сейчас все эти методы кажутся примитивными, ведь в наше время ученые могут видеть живой мозг прямо сквозь череп, используя магнитно-резонансную томографию (МРТ). Эта потрясающая технология дает возможность получать изображения поперечных сечений мозга на заданной глубине (рис. 6).

В сущности, МРТ как бы виртуально рассекает голову на ломти и создает двухмерное (2D-) изображение каждого из них. Получается целый набор 2D-картинок, и по нему специалисты воссоздают форму всего мозга в трех измерениях, получая уже 3D-изображение. А затем можно весьма точно вычислить объем мозга. Благодаря МРТ стало гораздо легче проводить работы по сопоставлению IQ и объема мозга. За прошедшие два десятка лет осуществлено множество таких исследований. Ученые пришли к единому мнению: *в среднем* у людей с более крупным мозгом IQ выше.

Иными словами, современные исследования, сделанные с помощью усовершенствованных методов, подтвердили правоту Гальтона.

Однако это подтверждение не противоречит случаю Анатоля Франса. Размеры мозга все-таки почти бесполезны, когда речь идет об оценке IQ конкретного человека. Почему я

говорю «почти»? Если две переменные связаны между собой статистически, о них говорят, что они *коррелируют* между собой. Статистики оценивают величину такой корреляции так называемым коэффициентом корреляции Пирсона. Этот коэффициент может принимать значения от -1 до $+1$. Когда это число (обычно его обозначают буквой r) близко к упомянутым пределам, говорят, что корреляция *сильная*: если вы знаете одну переменную, то с высокой точностью можете предсказать значение другой. Если коэффициент r близок к нулю, то корреляция слабая, и при попытке вывести из одной переменной другую ваша оценка будет отличаться крайне низкой точностью. Так вот, для корреляции между IQ и объемом мозга коэффициент $r = 0,33$. Это довольно слабая корреляция.

Мораль сей басни такова: статистические утверждения касательно средних не следует безоглядно применять к *отдельным* индивидуумам. Неверную интерпретацию легко сделать и еще легче принять на веру. Вот откуда взялась знаменитая острота насчет того, что существуют три вида лжи: просто ложь, наглая ложь и статистика.

Научные статьи в этой сфере обычно пишутся сложным ученым языком, они пестрят цитатами и сносками, однако невозможно избавиться от ощущения, что все эти измерения голов – занятие немного смешное. Да и сам Гальтон был человеком, мягко говоря, чудаковатым. Его девиз – «Измерить и сосчитать всё, что можно» – выдает его неумеренное,

почти абсурдное пристрастие к количественной оценке всего на свете. В своих воспоминаниях он пишет о том, как пытался создать «Британскую карту красоты». Прогуливаясь по улицам больших городов, он тайком проделывал дырки в листе бумаги, который прятал в кармане. Эти отверстия на свой лад отражали красоту проходящих женщин. Существовало три градации: «привлекательная», «невыразительная» и «отталкивающая». Каков же оказался результат исследования? «Я обнаружил, что на первом месте по женской красоте стоит Лондон, на последнем же – Абердин».

Помимо всего прочего, в таких исследованиях кроется нечто оскорбительное. Карл Пирсон, знаменитый ученый-статистик, протеже Гальтона, как раз и введший в статистику тот самый коэффициент Пирсона, расположил всех людей на линейной шкале, разбив их на девять категорий: гении, высокоодаренные, одаренные, умные, недостаточно умные, глупые, весьма глупые, чрезвычайно глупые, дебилы. Свести человека к одной-единственной цифре или категории по уму, красоте или какой-нибудь другой личной характеристике – это, воля ваша, отдает редуccionизмом и дегуманизацией. Некоторые горе-ученые в свое время перешли грань между оскорбительным и безнравственным, пытаясь с помощью своих изысканий оправдать радикальную политику евгеники и расовой дискриминации.

Впрочем, ошибкой было бы с порога отвергать находку Гальтона лишь потому, что она кажется простодуш-

ной, или потому, что ее можно неправильно использовать, или потому, что корреляция между упомянутыми параметрами прослеживается слабо. У его наблюдения есть и положительная сторона. Гальтон заложил основу для вполне убедительной гипотезы: различия в мозгу – вот причина различия умственных способностей. Гальтон воспользовался наилучшим методом из всех, какие оказались ему доступны, и рассмотрел зависимость между успеваемостью и размерами головы. Современные исследователи обращаются к IQ и размерам мозга. Эти методы оценки уже лучше, но все равно они довольно грубы. Если продолжать усовершенствование методов, можно ли надеяться обнаружить еще более сильные корреляции?

* * *

Свести всю структуру мозга к одному-единственному показателю вроде общего объема или веса – какой-то слишком уж поверхностный подход, не так ли? Даже беглый осмотр мозга покажет, что в нем имеется множество зон и все они выглядят разными даже для невооруженного взгляда. Конечный мозг⁵, мозжечок и ствол мозга (рис. 7) легко можно увидеть, если аккуратно извлечь мозг из черепной коробки, как проделывали при посмертном вскрытии тел Анатоля

⁵ Конечный мозг – передний отдел головного мозга: полушария, покрытые корой, мозолистое тело, полосатое тело и обонятельный мозг.

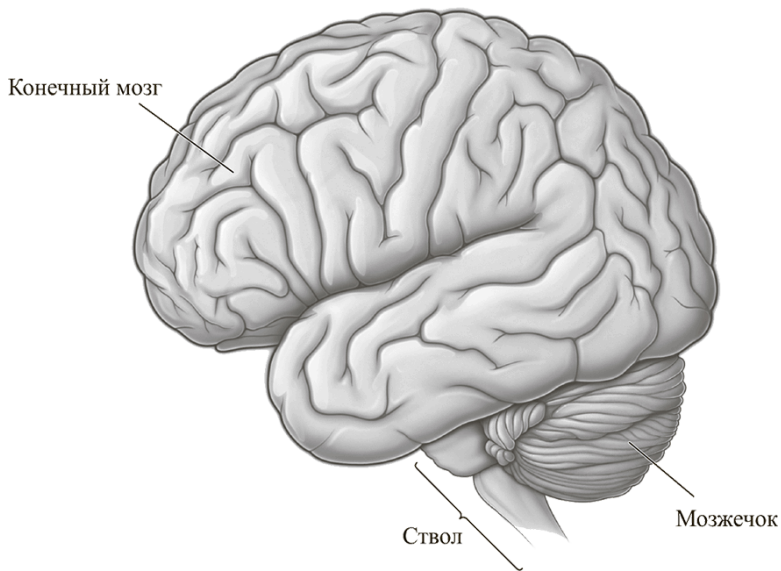


Рис. 7. Три части мозга (конечный мозг, мозжечок, ствол мозга)

Ствол поддерживает конечный мозг, подобный плоду на стебле, а мозжечок украшает место их соединения, словно лист. Мозжечок отвечает за плавность и изящество наших движений, однако его удаление сказывается главным образом на умственных способностях. Повреждение ствола может убить, поскольку он управляет многими жизненно важными функциями, в том числе дыханием. Обширное пора-

жение конечного мозга оставляет жертву живой, но в бессознательном состоянии. Конечный мозг обычно считают наиболее важной из этих трех частей, если речь идет об уровне человеческого интеллекта: она имеет важнейшее значение для всех типов наших умственных способностей. Кроме того, это самая крупная из трех частей мозга, она занимает около 85 % его общего объема.

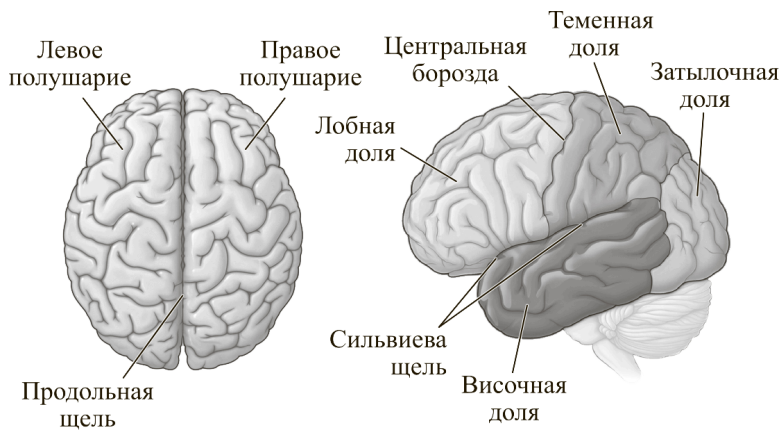


Рис. 8. Конечный мозг делится на полушария (слева), а каждое полушарие делится на доли (справа)

Почти вся поверхность конечного мозга покрыта слоем особой ткани, имеющим толщину всего несколько миллиметров. Это *кора головного мозга* или просто *кора*. Занимая площадь не меньше полотенца для рук, кора помещает-

ся в черепную коробку лишь благодаря своей складчатости. Эти складки как раз и придают полушариям мозга сморщенный вид. Самая четкая граница, имеющаяся в коре, видна сверху: это большая борозда, идущая от передней части мозга к задней (рис. 8, слева). Эта борозда, именуемая продольной щелью, разделяет левое и правое полушария конечного мозга, «левый мозг» и «правый мозг», как их называют в поп-психологии.

Менее очевидно, как разделить каждое полушарие. Один из довольно убедительных вариантов такого разделения предлагает опять же ориентироваться на бороздки коры. После продольной щели наиболее заметная борозда – так называемая сильвиева щель (латеральная борозда) (рис. 8, справа). Затем – центральная борозда, идущая вертикально от сильвиевой щели к верхней части мозга. Эти две крупные борозды делят каждое полушарие на четыре доли: лобную, теменную, затылочную и височную. (Кстати, стоит лучше запомнить названия и месторасположение этих долей: в дальнейшем я буду их часто упоминать.)

На поверхности мозга существует множество других бороздок, поменьше. Некоторые из них у всех людей расположены примерно одинаково. У них есть названия, и сегодня эти бороздки используются как своего рода ориентиры на местности. Но имеет ли смысл такое разделение коры по бороздкам? Они действительно представляют собой значимые границы – или же это просто какой-то незначитель-

ный побочный результат того, что коре пришлось смяться складками, чтобы поместиться внутрь черепа?

С проблемой разделения коры на участки впервые столкнулись в XIX веке. До этого считалось, что кора служит лишь для того, чтобы прикрывать остальную мозг. (Об этом говорит сам термин «кора»: в русском языке он близок по значению к ботаническому понятию «кора»; английское слово *cortex* происходит от латинского слова, означающего кору дерева.) В 1819 году австрийский врач Франц Йозеф Галль опубликовал работу, где изложил свою теорию «органологии». Он отмечал, что каждый орган тела выполняет определенную функцию: желудок служит для переваривания пищи, легкие – для дыхания и т. п. Галль заявлял: мозг слишком сложно устроен, чтобы являться единичным органом, а сознание – чересчур сложная вещь, чтобы являться единичной функцией. Он предложил разделить на части и мозг, и ум. В частности, он признал важную роль коры и разделил ее на ряд областей, которые и назвал «органами» сознания.

Иоганн Спурцхайм, ученик Галля, позже ввел термин *френология*, более знакомый нам, чем то название, которое дал этой теории Галль. Френологическая карта (см. рис. 9) показывает участки мозга, соответствующие функциям «восприимчивости», «твердости», «идеализма» и т. п. Конкретно *эти* соответствия ныне признаны пустыми фантазиями, основанными на шатких доказательствах, однако френологи в конечном счете все-таки оказались скорее правы,

чем неправы. Их идея об особой роли коры сейчас признана повсеместно, а их подход, основанный на привязке умственных и психических функций к определенным областям коры, по-прежнему встречает серьезное и уважительное отношение ученых. Теперь он называется кортикальным или церебральным *локализационизмом*.

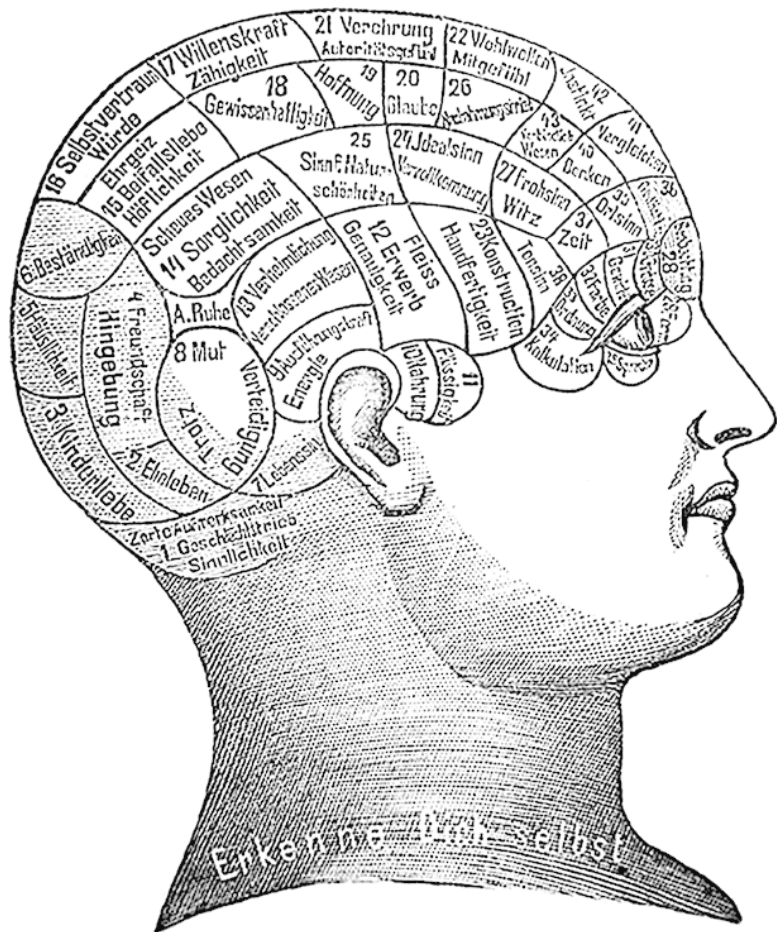


Рис. 9. Френологическая карта

Первое реальное доказательство такой локализации по-

явилось позже, хотя и в том же XIX столетии. Это доказательство ученые получили, наблюдая больных с травмами мозга. В то время многие французские нейрофизиологи работали в двух парижских больницах – в Сальпетриере, на левом берегу Сены, обитали пациентки-женщины, а больные-мужчины размещались подальше от центра города, в больнице Бисетр. Оба заведения были основаны еще в XVII веке и сочетали в себе также функции тюрьмы и лечебницы для душевнобольных. (Различие между этими функциями невольно стер самый знаменитый постоялец Бисетра – маркиз де Сад.) В обеих больницах впервые начали применять гуманные методы лечения умалишенных – в частности, их перестали заковывать в цепи. Но мне почему-то кажется, что эти заведения все-таки оставались весьма мрачными и безрадостными.

В 1861 году французский врач Поль Брока был вызван в хирургическое отделение Бисетра на осмотр 51-летнего пациента, страдавшего от какой-то инфекции. Судя по истории болезни, этот человек находился в заключении с тридцатилетнего возраста. К моменту поступления в больницу он успел практически полностью утратить дар речи и способен был произносить лишь односложное «тан», которое и стало его кличкой. Поскольку Тан мог общаться с другими при помощи жестов, представлялось, что он понимает человеческий язык, хоть и не может говорить.



Рис. 10. Мозг Тана с поврежденным центром Брока

Через несколько дней после врачебного осмотра инфекция все-таки доконала Тана, он умер, и Брока произвел вскрытие трупа. Он распилил черепную коробку, извлек мозг и заспиртовал его для сохранности. Самым значительным повреждением мозга бедняги (рис. 10) оказалась обширная полость в левой лобной доле.

На другой же день Брока сообщил о своем открытии в Антропологическом обществе. Он заявил, что поврежденный участок мозга Тана отвечал за произнесение слов и что эту функцию следует отличать от функции понимания речи. Се-

годня мы называем утрату речевых навыков *афазией*. Утрата собственно дара речи называется афазией Брока, а поврежденный участок коры головного мозга Тана – центром Брока. Эта находка позволила Брока разрешить спор, который длился десятилетиями. Френолог Галль еще в начале XIX века предполагал, что лингвистические функции сосредоточены в лобной доле мозга, но современники отнеслись к его идее скептически. Брока же наконецто сумел обеспечить для нее хоть какое-то убедительное доказательство и даже указал, где именно в лобной доле находится соответствующий участок.

В дальнейшем ученому встретились и другие случаи, аналогичные случаю Тана. Брока обнаружил, что все они связаны с повреждением левого полушария. Два полушария мозга выглядят очень похожими друг на друга, и современникам Брока трудно было поверить, что они могут так отличаться по своим функциям. Однако доказательства множились, и Брока, в своей статье 1865 года, заключил, что левое полушарие в значительной мере специализируется на речевых способностях и навыках. Последующие исследователи подтвердили, что этот вывод верен практически для всех людей. Таким образом, открытия Брока поддерживают теорию не только кортикальной, но и церебральной латерализации – идеи о том, что умственные и психические функции сосредоточены либо в левом, либо в правом полушарии.

В 1874 году немецкий нейрофизиолог и психоневропатолог

лог Карл Вернике описал иной тип афазии. В отличие от Та-на его пациент мог свободно говорить, однако фразы получались бессмысленные. Кроме того, больной не понимал тех вопросов, которые ему задавали. Посмертное вскрытие выявило повреждения части височной доли левого полушария. Вернике пришел к выводу, что эта утрата понимания – первичное следствие повреждений упомянутой зоны. Вторичное же следствие – бессмысленные речи: возможно, человеку необходимо самому понимать, что он говорит, дабы произносить нечто осмысленное. Совокупность симптомов, вызванных повреждением так называемого центра Вернике, сегодня называют афазией Вернике.

Брока и Вернике совместно заложили базу для концепции *двойной диссоциации* речи (произнесения слов) и понимания (восприятия обращенных к человеку слов). Повреждение центра Брока препятствует произнесению слов, однако понимание при этом сохраняется; повреждение центра Вернике уничтожает понимание, при этом шадя дар речи. Перед нами важное свидетельство того, что сознание человека имеет модульную структуру. Пожалуй, кажется вполне очевидным, что речевые способности отличаются от других умственных способностей, поскольку из всех животных речью владеют лишь люди; однако менее очевидно (или *было* менее очевидно до открытий Брока и Вернике), что эти способности можно подразделить на отдельные модули – производства речи и ее восприятия.

Брока и Вернике продемонстрировали, как картировать кору путем привязки симптомов заболеваний к конкретным поврежденным участкам мозга. Используя этот метод, их последователи сумели выявить функции многих других областей коры. Они построили карты, аналогичные тем, что вычерчивали френологи, но основанные на куда более надежных данных. Можно ли с помощью этих сведений о кортикальной локализации попытаться выяснить причины умственных и психических различий между людьми?

* * *

Когда в 1955 году Альберт Эйнштейн умер, его тело кремировали, а мозг – нет: в ходе вскрытия этот орган извлек патологоанатом Томас Харви. Спустя несколько месяцев патологоанатома уволили из Принстонской больницы, однако мозг Эйнштейна он оставил при себе. Несколько десятилетий, переезжая из города в город, он возил с собой 240 фрагментов этого мозга в особом сосуде. В 1980-х и 1990-х годах Харви рассылал образцы мозговой ткани Эйнштейна некоторым специалистам, одержимым, как и он, мыслью выяснить, чем мозг гения отличается от мозга обычного человека.

Харви сразу установил, что вес мозга Эйнштейна был средним или даже чуть меньше среднего. Таким образом, сам по себе размер мозга не мог объяснить, почему Эйнштейн обладал такими необычайными способностями.

Сандра Вителсон и ее коллеги в 1999 году предложили другое объяснение. На основании фотографий, которые Харви делал при вскрытии, они предположили, что у Эйнштейна был увеличен участок коры, именуемый нижней теменной долькой (это часть теменной доли мозга). Возможно, Эйнштейн был гением, потому что имел необычно большую *часть* мозга. Сам Эйнштейн рассказывал, что зачастую мыслит скорее образами, чем словами, а специалистам известно, что теменная доля мозга как раз и отвечает за визуальное и пространственное мышление.

Анатоль Франс и Альберт Эйнштейн принадлежат к тем гениям, чьим мозгом общество зачаровано с давних пор. Интерес к мозгу гениев возник не вчера. Энтузиасты XIX века сохранили для вечности мозг таких знаменитостей, как Байрон и Уитмен. Их мозг и по сей день покоится в пыльных склянках, задвинутых в музейные запасники. Мне кажется странно воодушевляющим тот факт, что Тан и Поль Брока, бессловесный пациент и наблюдавший его нейрофизиолог, теперь являются компаньонами в вечности: мозг того и другого хранится в одном и том же парижском музее. Нейроанатомы сберегли и содержимое черепной коробки Карла Гаусса, одного из величайших математиков всех времен и народов. Они обратили внимание на необычно крупную теменную долю, объясняющую, по их мнению, гениальность покойного. Тем самым они предвосхитили объяснение талантов Эйнштейна, которое дала Вителсон.

Стратегия изучения размеров определенных *участков* мозга, а не размеров всего мозга, отнюдь не нова. Вообще-то ее придумали еще френологи. Франц Йозеф Галль, отец-основатель френологии, так озаглавил свой трактат 1819 года: «Анатомия и физиология нервной системы в целом, а также мозга в частности, с присовокуплением наблюдений касательно возможности оценивания некоторых умственных и нравственных качеств человека и животного по конфигурации головы». Галль утверждал, что каждое умственное или психическое «качество» связано с размерами соответствующего участка коры. Менее уверенно он предполагал, что форма черепа отражает очертания коры и по форме черепа можно судить о качествах натуры его носителя. Френологи колесили по миру, предлагая родителям предсказать судьбу их чад, подбирая женихов и невест, отсеивая кандидатов, пришедших наниматься на работу, и всё это – ошупывая шишки и выступы на голове.

Галль и его ученик Спурцхайм делали предположения о функциях тех или иных участков коры на основании распространенных мнений о «крайних» проявлениях того или иного качества. К примеру, если у гения большой лоб, то ум, по-видимому, содержится в передней части мозга. Если у мошенника голова раздута по бокам, это означает, что за склонность к обману отвечает височная доля мозга. Эти забавные методы привели к выстраиванию локализаций, которые в большинстве своем оказались абсурдными

и противоречащими здравому смыслу. Ко второй половине XIX века френология повсеместно превратилась в объект насмешек.

Сегодня мы обладаем технологиями, о которых френологи могли только мечтать. МРТ позволяет нам с высокой точностью измерять размеры участков коры, и при этом нет нужды обращаться к глупому методу ощупывания шишек на черепе. Сканируя мозг множества людей, ученые могут получить куда больше информации, чем Вителсон в ходе своего простодушного изучения мозга Эйнштейна. Что же обнаружили неофренологи?

Они продемонстрировали, что IQ действительно связан с размерами лобной и теменной долей мозга. Как выяснилось, эта корреляция несколько сильнее, чем корреляция между IQ и общим размером мозга, что вполне согласуется с идеей, согласно которой эти доли имеют большее значение для оценки степени интеллектуальности. (Затылочная и височная доли отвечают главным образом за наше восприятие – зрение, слух и другие чувства.) Но, увы, эта корреляция все-таки слаба.

Впрочем, такие работы не во всем следуют духу френологии, которая делила не только мозг на области, но и ум человека на отдельные способности. Все мы знаем, что математически одаренные люди меньше преуспевают в словесных искусствах – и наоборот. Сегодня многие ученые отвергают идею об IQ и интеллекте «в целом», считая ее упро-

щенной. Они предпочитают говорить о «множественных интеллектах», и эти интеллекты, как выясняется, действительно коррелируют с размерами определенных областей мозга. Так, у лондонских таксистов увеличен правый задний отдел гиппокампа – участок коры, отвечающий, как полагают, за ориентацию на местности. У музыкантов больше мозжечок и толще некоторые участки коры. (Увеличенные размеры мозжечка понятны: считается, что этот орган важен для тонкой моторики.) У двуязычных людей утолщена кора нижней части левой теменной доли.

Да, это удивительные открытия, но они имеют лишь статистический характер. Если начать внимательно разбираться в результатах этих исследований, вы увидите, что упомянутые области мозга крупнее лишь *в среднем*. Изучение размера отдельных участков мозга по-прежнему бесполезно, когда речь идет об оценке и предсказании способностей *отдельного* человека.

* * *

Несходства в умственных способностях могут вызывать какие-то трудности, но обычно все-таки не являются катастрофическими. Однако другие типы умственно-психических различий связаны с ужасными страданиями и чрезвычайно дорого обходятся обществу. Среди населения развитых стран в среднем шесть человек из каждых ста имеют

острое психическое расстройство, а почти каждый второй хоть раз в жизни испытывал менее значительное психическое недомогание. Большинство таких недугов лишь частично поддаются фармацевтическому лечению или поведенческой терапии, а для многих душевных болезней вообще пока нет методов лечения. Почему же так трудно бороться с психическими расстройствами?

Первооткрыватель того или иного заболевания обычно и первым описывает его симптомы. В 1530 году итальянский врач Джироламо Фракасторо использовал для этого необычную форму – эпической поэмы, которую он назвал «*Syphilis sive morbus Gallicus*» («Сифилис, или Французский недуг»). Он назвал болезнь в честь первого мужчины, который ее подхватил: согласно мифам и легендам, это был пастух Сифилус, и его покарал этим недугом сам бог Аполлон. В трех томах латинских гекзаметров Фракасторо описывает симптомы сифилиса, признает, что болезнь эта передается половым путем, и предлагает некоторые лекарства.

Сифилис вызывает отвратительные повреждения кожи и ужасные физические изменения. На более поздних стадиях может появляться еще один страшный симптом: умопомешательство. Мопассан в своем рассказе «Орля» (1887) описывает сверхъестественное существо, терзающее повествователя поначалу телесной, а затем и душевной болезнью: «Я погиб! Кто-то завладел моей душой и теперь управляет ею! Кто-то повелевает всеми моими действиями, движе-

ниями, мыслями. Я больше ничего для себя не значу, я лишь поработанный и устрешенный зритель всего, что сам же совершаю». Рассказчик в конце концов решается положить конец своим страданиям, покончив с собой. По-видимому, история носит отчасти автобиографический характер, так как Мопассан сам страдал от сифилиса, которым заразился в двадцать с лишним лет. В 1892 году он попытался совершить самоубийство, перерезав себе горло. Писателя поместили в лечебницу для душевнобольных, где он через год и умер. Ему было всего сорок два года.

Художник Поль Гоген и поэт Шарль Бодлер, возможно, также страдали от сифилиса. Но твердого доказательства у нас нет, ибо никакое заболевание нельзя с уверенностью диагностировать, основываясь лишь на симптомах. У двух человек с одним и тем же недугом могут проявляться разные симптомы, а у двух человек с разными заболеваниями симптомы могут быть одни и те же. Бактерии, вызывающие сифилис, ученые открыли только в 1905 году. Вскоре появились и первые лекарства, уничтожающие эти бактерии. Такие лекарства оказались эффективны лишь на ранних стадиях развития болезни, однако не помогали избавиться от сифилиса, когда тот уже успевал вторгнуться в нервную систему. В 1927 году австрийский врач Юлиус Вагнер Яуреги получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине за необычный способ лечения нейросифилиса. В дополнение к вводимым медикаментам он намеренно заражал пациентов

малярией. Возникающая лихорадка каким-то образом справлялась с бактериями сифилиса, после чего врач вводил больному антималярийные препараты. После Второй мировой на смену методу Вагнера-Яурега пришел пенициллин и другие антибактериальные средства, названные антибиотиками. В наше время сифилис больше не является основной причиной заболеваний мозга.

Инфекционные заболевания сравнительно легко излечиваются, поскольку мы знаем их причину. Но как насчет других видов болезней? Болезнь Альцгеймера (БА), обычно поражающая пожилых людей, начинается с потери памяти, а затем приводит к деменции – старческому слабоумию и общей деградациии умственных способностей. На более поздних стадиях развития болезни мозг усыхает, оставляя пустое пространство внутри черепа. Френологи, живи они сегодня, объясняли бы БА уменьшением размеров мозга, но это объяснение оказалось бы неудовлетворительным. Усыхание мозга происходит спустя долгое время после того, как появляются первые симптомы недуга – в частности, потеря памяти. Более того, сжатие мозга – скорее симптом, нежели причина болезни. Оно происходит из-за отмирания мозговых тканей, но что служит причиной их отмирания?

В поисках ответа ученые исследовали ткани, полученные при посмертном вскрытии тел пациентов, страдавших БА, и обнаружили микроскопические кусочки «мусора» – тромбы и бляшки, засоряющие мозг. Та или иная аномальность

мозговых клеток, связанная с каким-то заболеванием, именуется *нейропатологией*. Тромбы появляются в мозгу задолго до гибели клеток, близко к тому моменту, когда у пациента начинают проявляться симптомы БА. Сегодня эти нейропатологии считаются определяющими характеристиками БА, поскольку деградация памяти и старческое слабоумие могут возникать и при других заболеваниях. Ученые пока не выяснили, что вызывает образование бляшек и тромбов, но они надеются, что снижение количества этих нейропатологий поможет при лечении БА.

Наиболее загадочные психические отклонения не связаны с какой-то конкретной и неизменной нейропатологией. Здесь мы пока в тупике. Такие недуги, по-прежнему определяемые лишь по психологическим симптомам, явно будут дольше всех прочих ждать методов исцеления. Возможно, к числу подобных симптомов принадлежит повышенная тревожность (как при панических состояниях или маниакально-депрессивном психозе) или резкие перепады настроения (как при депрессии или биполярных расстройствах не слишком острого характера). Среди наиболее разрушительных и изнурительных заболеваний – шизофрения и аутизм.

Симптомы аутизма весьма запоминающимся образом изложены в следующей клинической картине:

В три года Дэвиду поставили диагноз «аутизм». В этот период он почти не смотрел на людей, не говорил и, казалось, заблудился где-то в собственном

мире. Он любил часами прыгать на батуте и великолепно собирал пазлы. К десяти годам Дэвид отличался хорошим физическим развитием, однако на эмоциональном уровне остался весьма незрелым. У него было очень красивое лицо с тонкими чертами... Он был и остается чрезвычайно упрямым в своей приязни и неприязни к кому-то или чему-то... Его мать часто вынуждена идти навстречу его настойчивым и неоднократным требованиям, легко переходящим во вспышки раздражения.

Дэвид научился говорить в пять лет. Сейчас он ходит в спецшколу для детей-аутистов, там он счастлив. У него выработался ежедневный график, который он никогда не меняет... Чему-то он учится чрезвычайно быстро и успешно. Например, читать он научился совершенно самостоятельно. Теперь он свободно читает, однако не понимает прочитанное. Кроме того, он обожает арифметические подсчеты. Однако другие навыки он осваивает крайне медленно: взять хотя бы прием пищи за общим семейным столом или одевание...

Сейчас Дэвиду двенадцать. Он никогда не вступает в игру с другими детьми, поддавшись минутному порыву. Он испытывает явные трудности в общении с малознакомыми людьми... Он не уступает их желаниям, не учитывает их интересы и точку зрения. В этом смысле Дэвид равнодушен к социуму, он продолжает пребывать в собственном мирке.

Этот характерный клинический случай включает в себя

все три главных симптома аутизма: социальную неполноценность, языковые трудности и склонность к шаблонному (ритуализованному) или неуступчивому поведению. Симптомы эти обычно появляются еще до трехлетнего возраста и с годами часто слабеют, однако большинство взрослых аутистов неспособно нормально функционировать без какого-то внешнего надзора, присмотра и контроля. Среди известных на сегодня методов и лекарств для лечения аутизма нет ни одного по-настоящему эффективного.

Юта Фрит описывает аутизм более поэтично: она говорит о «прекрасном ребенке, заключенном в стеклянную скорлупу». Дети, страдающие многими другими врожденными недугами, надрывают сердце зримыми физическими дефектами. С аутистами не так: они зачастую выглядят отлично, а некоторые из них очень красивы. Их внешность обманывает родителей, которым трудно поверить, что с их детьми что-то не так. Родители тщетно надеются пробиться сквозь «стеклянную скорлупу» – социальную изоляцию аутиста – и высвободить из нее нормального ребенка. Но здоровое обличье ребенка-аутиста прячет под собою ненормальный мозг.

Наиболее документированная аномалия здесь – сами размеры мозга. Американский психиатр Лео Каннер одним из первых дал определение этого синдрома в своей эпохальной статье 1943 года. Он мимоходом заметил, что среди одиннадцати детей, типичных аутистов, у пятерых была

крупная голова. В последующие годы специалисты изучили куда больше детей-аутистов и обнаружили, что их голова и мозг действительно крупнее среднего, особенно лобные доли, которые содержат много зон, отвечающих за социальное и языковое поведение.

Означает ли это, что размер мозга позволяет успешно предсказывать аутизм? Если бы это было так, мы могли бы с уверенностью утверждать, что френологи шли по верному пути, пытаясь найти объяснение причин аутизма. Но следует проявлять осторожность, иначе можно попасть в обычную статистическую западню, грозящую нам при рассмотрении редких категорий. Возьмем весьма особый тип людей – профессиональных футболистов. Они заметно крупнее среднего человека. Можем ли мы вывернуть это рассуждение наизнанку и предсказать: любой человек крупнее средних габаритов – скорее всего, профессиональный футболист? Такие умозаключения хорошо работают с так называемыми сбалансированными выборками населения – к примеру, с такими, где число футболистов равно количеству прочих людей. Если в такой выборке рассортировать население по росту, предсказания на его основе окажутся довольно точными. Но если рассматривать население в целом и заявлять, что любой его крупный представитель – футболист, вы окажетесь, скорее всего, неправы. Выяснится, что люди высоки, мускулисты или массивны по каким-то другим причинам, не связанным с игрой в футбол. Точно так же ненадеж-

но и предсказание, согласно которому все дети с крупным мозгом являются аутистами. Чтобы играть в премьер-лиге, мало иметь впечатляющие физические габариты. Чтобы являться аутистом, недостаточно иметь крупный мозг.

Впрочем, СМИ частенько сообщают об исследованиях, чьи авторы претендуют на точное предсказание редких психических расстройств на основе того или иного свойства мозга. При тщательном изучении такие работы, как правило, оказываются менее впечатляющими, чем на первый взгляд, ибо подобные прогнозы надежны лишь для сбалансированной выборки, а не для населения в целом. Но если вам действительно известна причина недуга, то эта причина позволит ставить безошибочный диагноз даже в случае, когда вы имеете дело с населением в целом. Так и происходит для множества инфекционных заболеваний: их можно обнаружить благодаря анализу крови, выявляя наличие в ней определенных микробов.

* * *

Шизофрения – такое же загадочное отклонение, как и аутизм, она зачастую ставит ученых в тупик. Обычно она начинает проявляться в двадцать с чем-то лет – с внезапных острых галлюцинаций (обычно слуховых: больной слышит воображаемые голоса), маний (обычно это мания преследования) и хаотического мышления. Вот яркое описание

подобных симптомов (в совокупности их именуют психозом) из первых рук:

Не могу вспомнить, что подтолкнуло меня к этому, но помню, что однажды, сидя в туалете, я почувствовал, как меня захлестывает волна адреналина. Сердце у меня застучало как бешеное. В моей голове зазвучали голоса ниоткуда, и мне показалось, что я словно бы мысленно настроился на какой-то всемирный телеканал, где рок-звезды и ученые свергали правительства посредством компьютеров, биологии, психологии и ритуала вуду. Именно сейчас!

Люди, беседовавшие на экране, объявляли о своих намерениях установить в мире новый порядок и о причинах, которые побуждают их это сделать. Похоже, я присутствовал при главной дискуссии между рок-героями и учеными. Участники этой беседы скрывались где-то в тайных местах по всему миру.

Психоз может привести жертву в ужас, вызвать беспокойство и тревогу окружающих. Такой психоз – наиболее очевидный признак шизофрении, однако им сопровождаются и другие психические заболевания. Поэтому для точной диагностики шизофрении необходимы и другие симптомы: например, недостаточная мотивированность поступков, слабо выраженные эмоции, деградация речи. Это «негативные» симптомы шизофрении: существуют и «позитивные», психотические. (Слова «негативные» и «позитивные» здесь не означают оценку, а указывают на беспорядочность

мышления и на относительное отсутствие эмоций соответственно.) Шизофрению лечат препаратами, избавляющими от психоза, однако эти лекарства не дают полного исцеления. Большинству шизофреников, несмотря на терапию, все-таки не удается вести независимую, нормальную жизнь, обходясь без внешнего контроля и присмотра.

Как и в случае с аутизмом, наиболее документированная аномалия мозга шизофреников просто обязана иметь какое-то отношение к его размерам. Исследования с помощью МРТ показывают, что у таких больных общий объем мозга уменьшен в среднем всего на несколько процентов. Уменьшение гиппокампа – значительнее, но и оно невелико. Специалисты также получили изображение системы желудочков головного мозга – полостей, наполненных жидкостью. Боковой и третий желудочки у таких больных увеличены в среднем на 20 %. Так как желудочки представляют собой, по сути, пустоты в мозгу, их увеличение, возможно, как раз и связано с наблюдаемым сокращением объема собственно мозга. Мысль о том, что какое-то зримое различие все-таки нашли, очень обнадеживает, но эта корреляция слаба. Здесь та же история, что и со статистическими выкладками для аутистов. Диагностика шизофрении для конкретного человека по размерам его мозга, величине гиппокампа или объему мозговых желудочков будет чрезвычайно неточной.

Чтобы по-настоящему продвинуться в лечении аутизма

и шизофрении, не помешало бы отыскать четкие, недвусмысленные и неизменные нейропатологии, связанные с этими недугами, подобно бляшкам и тромбам в случае болезни Альцгеймера. Но в мозгу аутистов и шизофреников, как правило, не происходит подобного неуклонного накопления «мусора», они не показывают и других признаков отмирания или дегенерации клеток. Неофренологи предполагают, что в мозгу таких больных существуют некие аномалии, но пока их обнаружить не удалось. В 1972 году нейрофизиолог Фред Плам в отчаянии написал: «Шизофрения – кладбище невропатологов». С тех пор исследователи нашли некоторые ключи к разгадке тайны, но реального прорыва, к сожалению, не произошло.

Большинство из нас убеждено: различие умов связано с различием мозгов. Но пока доказательств этого утверждения получено мало. Френологи пытались найти доказательство, изучая размеры мозга и его отдельных участков, но лишь недавно МРТ позволила осуществлять эту стратегию как следует. Неофренология подтвердила, что умственно-психические различия между людьми статистически связаны с размерами мозга, выявив слабые корреляции для *групп* людей. Однако эти различия в размерах не позволяют точно предсказывать гениальность, аутизм или шизофрению для *отдельного* человека.

Хочется, чтобы нейронаука выиграла этот поединок более убедительно. Ставки в игре высоки. Обнаружение нейропа-

тологий для аутизма и шизофрении, возможно, будет способствовать успешному поиску эффективных путей лечения этих недугов. Понимание того, что делает мозг умным, могло бы помочь нам разрабатывать более действенные педагогические методы и другие инструменты для того, чтобы делать людей смысленее. Мы хотим не просто понять мозг. Мы хотим изменить его.

Глава 2 Пограничные конфликты

Господи, дай мне спокойствие, чтобы принять то, что я не могу изменить, храбрость, чтобы изменить то, что могу, и мудрость, чтобы отличать одно от другого.

Молитву о ниспослании спокойствия и прочего с давних пор взяли на вооружение «Анонимные алкоголики» и другие организации, помогающие своим участникам избавляться от пагубных зависимостей. Эти четыре строчки ясно показывают, почему мы так зачарованы собственным мозгом: мы постоянно надеемся изменить его. Окиньте взглядом шкаф с «самоучителями жизни» в ближайшем книжном магазине. Вы увидите сотни томов, где объясняется, как меньше пить, как соскочить с наркотиков, как правильно питаться, как обращаться с деньгами, как воспитывать детей, как сохранить брак. Как будто ничего сложного, но на деле все оказывается совсем не так уж просто... Конечно же, и нормальным, здоровым взрослым людям тоже порой хочется изменить собственное поведение, но эта цель имеет куда более важное значение для тех, кто страдает психическими заболеваниями и расстройствами. Можно ли молодого человека излечить от шизофрении – если не в наши дни, то когда-нибудь? Может ли дедушка, перенесший инсульт, снова научиться говорить? Кроме того, все мы хотим, чтобы

школьное обучение и внешкольное воспитание формировали юные умы, совершенствуя их. Можно ли улучшить методы такого формирования?

Молитва о спокойствии просит храбрости и мудрости по отношению к переменам. Сумеет ли более четкие ответы дать нейронаука? В конце концов, изменение ума и сознания – это же в конечном счете изменение мозга. Впрочем, нейронаука не поможет нам в самосовершенствовании, не ответив прежде на основополагающий вопрос: каким именно образом меняется мозг, когда мы учимся вести себя по-новому?

Родители восторгаются быстротой развития своих чад, торжественно отмечая каждое новое действие или слово, которым те научились, словно это некое волшебство. Мозг маленького ребенка растет весьма стремительно, он достигает взрослых размеров к двухлетнему возрасту. Отсюда простенькая мысль: возможно, обучение – это не более чем рост мозга, и детей можно сделать умнее, этому росту способствуя.

Эта идея тоже родилась еще у френологов. Иоганн Спурцхайм заявлял, что умственная гимнастика способствует увеличению кортикальных органов, подобно тому как мышцы вздуваются от физических упражнений. На основании своей теории Спурцхайм создал целую философию образования как для детей, так и для взрослых.

Его теория подверглась научной проверке лишь спустя

век с лишним. К тому времени психологи успели разработать методы изучения воздействия разного рода стимуляции на сознание животных. Так, подопытных крыс помещали в две разных среды: одна – «скучная», вторая – «обогащенная». В скучной клетке существование одинокой крысы скрашивали лишь емкости с водой и пищей. В обогащенном жизненном пространстве множество крыс жили вместе, и каждый день им давали новые игрушки. Гоняя крыс по несложным лабиринтам, ученые выяснили, что крысы из «обогащенной» среды явно смысленнее своих товарищей из простых клеток. Вероятно, мозг у них отличается, но как именно?

В 1960-х годах Марк Розенцвейг с коллегами решили это выяснить. Они применяли необычайно простой метод: взвешивали кору головного мозга подопытных крыс. Как выяснилось, пребывание в обогащенной среде, как правило, приводит к небольшому увеличению объема коры. Так впервые было экспериментально показано, что жизненный опыт вызывает изменения структуры мозга.

Скорее всего, вас это не удивило. В конце концов, мы с вами уже знаем о МРТ-исследованиях, которые показали, что у лондонских таксистов, у музыкантов и у двуязычных людей некоторые участки мозга увеличены по сравнению с прочим населением. Но не следует слишком полагаться на подобные статистические выкладки. Анализ методом МРТ выявил корреляцию, но не доказал прямую причин-

но-следственную связь.

Действительно ли вождение такси, игра на музыкальном инструменте или владение вторым языком вызывают увеличение мозга или его отдельных частей, как предполагает теория Спурцхайма? Можно было бы заявлять о причинно-следственной связи, если бы мозг музыкантов и немужыкантов вообще не отличался до начала занятий музыкой, а различия появлялись лишь после таких занятий. Но МРТ получала лишь данные касательно этого «после», а потому не исключена и альтернативная интерпретация: возможно, у некоторых с рождения имеется определенным образом увеличенный мозг, способствующий музыкальным талантам, и эти одаренные люди с большей вероятностью становятся впоследствии музыкантами. Именно увеличенный мозг – причина того, что эти люди начинают заниматься музыкой, а не наоборот.

Среди музыкантов можно проводить отбор по врожденному таланту, что и делают преподаватели или организаторы конкурсов. Музыканты могут и сами себя отбирать: человек обычно предпочитает заниматься тем, что у него хорошо получается. Такая проблема, названная *погрешностью отбора*, усложняет интерпретацию результатов многих статистических исследований. Розенцвейг устранял погрешность отбора, *случайным образом* рассаживая крыс по клеткам – «обогащенной» и «скудной». Таким образом, можно с уверенностью сказать, что в начале эксперимента обе группы крыс

были статистически идентичны, что позволило ученому заключить: любые изменения, возникшие у них после пребывания в клетках, вызваны этим пребыванием.

Для более непосредственной демонстрации такой причинно-следственной связи можно с помощью МРТ сравнить человеческий мозг до и после какого-то переживания, до и после приобретения какого-нибудь опыта или навыка. Исследователи установили, что при обучении жонглированию шариками утолщается кора теменных и височных долей головного мозга. При обследовании группы студентов-медиков выяснилось, что усиленная подготовка к экзаменам вызывает у них увеличение объема коры в теменной области и увеличение объема гиппокампа.

Это впечатляющие результаты, но хотим мы все-таки другого. Таких данных недостаточно, чтобы продемонстрировать: приобретаемый опыт действительно меняет наш мозг. Кроме того, хотелось бы знать, являются ли изменения мозга причиной совершенствования наших способностей. Чтобы понять, отчего четких доказательств пока не получено, рассмотрим следующую аналогию. Допустим, обучение музыке делает музыкантов более тучными, поскольку они ведут сидячий образ жизнь, постоянно репетируя с утра до вечера. Ошибкой было бы заключить, что эта полнота служит причиной развития музыкальных талантов. Точно так же, показав, что занятия музыкой увеличивают мозг музыкантов, мы не доказываем, что этот рост мозга служит причиной то-

го, что они лучше играют на своем инструменте.

Розенцвейг продемонстрировал, что обитание в обогащенной клетке делает крыс смышленнее и при этом утолщает кору их головного мозга. Однако он не доказал, что именно это утолщение служит причиной роста уровня крысиного интеллекта. Вообще-то такая связь кажется маловероятной, если вспомнить то, что нам известно о функциях кортикальных участков мозга. Как полагают специалисты, лобные доли играют важную роль в таких навыках, как умение ориентироваться в лабиринте, но как раз лобные доли у этих крыс не увеличивались или же увеличивались весьма незначительно. Больше всего увеличивалась затылочная доля, а она отвечает за зрительное восприятие.

И потом, нельзя однозначно связать утолщение коры с обучением. Можно сказать лишь, что эти два явления коррелируют между собой. Да и корреляция эта слаба, она существует лишь на уровне усредненных данных по группам подопытных объектов. Кортикальное утолщение не позволяет делать надежные предсказания касательно обучения, когда речь идет об отдельных существах.

* * *

А возможно, такое изучение бега крыс по лабиринту или жонглирования – подход неверный. Не исключено, что нам следовало бы рассматривать более существенные

и резкие изменения. Так, непосредственно после инсульта больной часто испытывает слабость или вообще оказывается парализован. Он может утратить дар речи и другие умственные способности. Многие пациенты в течение нескольких месяцев достигают значительного улучшения. Что при этом происходит с мозгом? Исследования, призванные дать ответ на этот вопрос, имеют очевидное практическое значение, поскольку они могут помочь нам разработать более эффективные методы лечения.

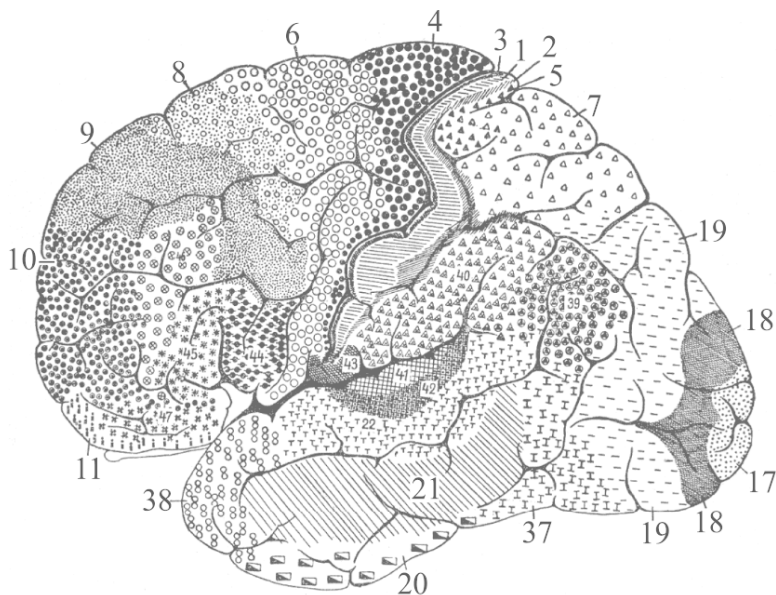


Рис. 11. Кора мозга. Карта Бродмана

Инсульт возникает при закупорке или разрыве кровеносных сосудов мозга. Симптомы болезни часто указывают на то, какая сторона мозга повреждена. Если пациент отчаянно пытается контролировать одну сторону тела (как часто бывает при инсульте), это означает, что затронута другая сторона мозга, так как каждая половина мозга управляет мышцами противоположной стороны тела. Неврологи могут иногда и более точно указать, какой участок мозга пострадал. Чтобы описать местонахождения кортикального повреждения, специалист точно укажет долю, а если нужна более высокая точность, то и определенную складку доли. Складки носят причудливые имена – к примеру, «верхняя височная извилина»: это самая верхняя складка височной доли. Кортикальный участок, напротив, обозначают обычно цифрой, а не словами. При этом используют карту, опубликованную в 1909 году немецким нейроанатомом Корбинианом Бродманом (рис. 11). Далее я буду использовать термин *поле*, говоря об областях на карте Бродмана, и *участок*, когда речь пойдет о любых других подразделениях мозга.

Причиной деградации памяти после инсульта может служить повреждение полей 4 и 6. Поле 4 – самая задняя полоска лобной доли, оно расположено перед центральной бороздой. Поле 6 находится перед полем 4. Оба, как выяснили ученые, играют важную роль в контроле движений. Инсульт часто разрушает и речевые навыки, что служит признаком

повреждения центра Брока (поля 44 и 45) или центра Вернике (задняя часть поля 22), оба центра находятся в левом полушарии.

Друзья и близкие больных мучительно хотят узнать, насколько возможно какое-то восстановление после инсульта. Будет ли дедушка снова ходить? А разговаривать? Двигательные функции жертв инсульта имеют тенденцию улучшаться со временем, но после трех месяцев это улучшение практически прекращается. Речевые навыки также восстанавливаются быстрее всего именно в ходе этих первых трех месяцев, хотя процесс может продолжаться еще месяцами или даже годами. Неврологам известно о важности этого трехмесячного периода, однако они толком не знают, почему в эти три месяца происходят столь интенсивные процессы. Но главное – они понятия не имеют, какие изменения происходят в мозгу пациента во время послеинсультной реабилитации.

Очевидно, при этом восстанавливаются функции пораженного участка мозга, целиком или частично. Однако при инсульте некоторые клетки мозга, расположенные близ поврежденного кровеносного сосуда, попросту отмирают, тем самым нанося непоправимый и необратимый ущерб организму. Могут ли уцелевшие участки мозга взять на себя задачу дефектного участка? Представим себе, что во время футбольного матча один из игроков получил мучительную травму, и его унесли с поля. На скамейке не осталось запас-

ных, так что команда, которой теперь не хватает рабочих рук (вернее, ног), будет действовать хуже. Однако по ходу дальнейшего матча оставшиеся футболисты могут адаптироваться к возникшей ситуации. Если до травмы их товарищ занимал атакующую позицию, защитники могут компенсировать утрату, начав выступать и как нападающие.

Таким образом, возникает чрезвычайно важный вопрос: может ли какая-то кортикальная область взять на себя новые функции после повреждения мозга? Есть некоторые свидетельства, подтверждающие, что такое возможно после инсульта. Более веские доказательства дают случаи детских черепно-мозговых травм и заболеваний. Так, эпилепсия характеризуется постоянными спонтанными припадками – эпизодами избыточной нейронной активности. Детей, страдающих особенно частыми и изнурительными припадками, иногда пытаются лечить, целиком удаляя одно полушарие головного мозга. Это едва ли не самая радикальная процедура в нейрохирургии, и поразительно уже то, что большинство детей после нее отлично восстанавливается: они ходят и даже бегают, хотя рука с противоположной удаленному полушарию стороны двигается у них плохо. Умственные способности при этом остаются не затронутыми и могут даже улучшиться после такой операции – если от припадков удалось избавиться.

Кое-кто может заметить, что успешное восстановление после удаления одного полушария – не самая удивитель-

ная вещь. Возможно, это как утрата одной почки. Оставшейся почке нет нужды заниматься чем-то новым для себя, она в общем-то действует, как раньше. Но вспомните, что некоторые из умственных функций латерализованы (привязаны к конкретному полушарию мозга), так что левая и правая стороны мозга не эквивалентны. Поскольку левое полушарие специализируется на речевых навыках, его удаление почти наверняка вызовет у взрослого человека афазию. Но для ребенка это не так: лингвистические функции переместятся в правое полушарие, тем самым демонстрируя, что области коры головного мозга действительно способны менять свои функции.

С учетом того, что нам известно о локализации, не стоит удивляться тому, что неврологи умеют догадываться о месте нахождения поврежденного участка мозга по симптомам. Впрочем, тут есть важное «да, но», которое вас, возможно, удивит. Да, можно построить карту, делящую кору на области с определенными функциями, но эта карта не будет постоянной. Пораженный мозг способен вычертить эту карту заново.

* * *

Такое перекраивание карты коры головного мозга после инсульта или операции, осуществляемое самим же мозгом, оказывается куда радикальнее, чем просто утолщение коры,

о котором сообщают неофренологи. Может ли перестраивание коры происходить и в здоровом мозгу? Опять-таки, ответ на этот вопрос помогает получить изучение серьезных повреждений – но тела, а не мозга. Вот что пишет в одной из своих статей нейробиолог Мигель Николелис:

Как-то утром, когда я был на четвертом курсе медицинского колледжа, хирург из Университетской больницы бразильского Сан-Паулу, специализировавшийся по сосудистым заболеваниям, пригласил меня посетить ортопедическую палату. «Сегодня будем общаться с призраком, – пообещал врач. – Но не бойтесь. Постарайтесь сохранять спокойствие. Пациент еще не сумел принять то, что с ним случилось, и сильно потрясен».

В этой палате я увидел мальчика двенадцати лет, у него были мутно-голубые глаза и курчавые светлые волосы. Он сидел передо мной. Капли пота усеивали его лицо, искаженное гримасой ужаса. Он весь корчился от боли неизвестного происхождения. «Ужасно больно, доктор. Жжет. Мне как будто ногу дробят», – пожаловался мальчик. Горло у меня стиснуло от жалости. «Где болит?» – спросил я. Он ответил: «Левая ступня, левая лодыжка, вся нога ниже колена!»

Подняв простыни, которые прикрывали его тело, я с ошеломлением увидел, что ноги ниже колена у него вообще нет: оказывается, ее ампутировали, после того как он попал под машину. Я понял, что это фантомная

боль – от части тела, которой больше не существует. Когда мы вышли из палаты, хирург заметил: «С нами говорил не он, а его призрачная конечность».

Методы ампутации, применяемые и по сей день, изобрел еще в XVII веке Амбруаз Паре, усовершенствовавшийся в своем искусстве во время службы хирургом при французской армии. Паре родился во времена, когда операции делали брадобреи, поскольку эти процедуры казались грубой мясницкой работой, недостойной врача. Работая на поле битвы, Паре научился перехватывать крупные артерии, чтобы пациент не истек кровью. В дальнейшем Паре стал придворным хирургом при французских королях (он пережил их несколько). Учебники истории называют его «отцом современной хирургии».

Паре первым сообщил о пациентах, подвергшихся ампутации и жалующихся на то, что по-прежнему ощущают боли в воображаемой конечности, причем на том месте, где когда-то болела настоящая. Несколько столетий спустя американский врач Сайлас Вейр Митчелл ввел термин «фантомная конечность», описывая такое же явление у ветеранов Первой мировой войны. Он разбирает множество характерных случаев, показывавших, что фантомные конечности у инвалидов – скорее правило, чем исключение. Почему же этот феномен так долго не замечали? Дело в том, что до хирургических новшеств, внедренных Амбруазом Паре, после ампутации выживали весьма немногие, а жалобы тех немно-

гих, кто все-таки выжил после такой операции, по-видимому, считали всего лишь результатом какой-то галлюцинации, поэтому врачи пренебрегали такими рассказами. Однако в этом явлении нет ничего иррационального: инвалид отлично понимает, что фантомное – это не реальное, однако фантомная конечность обычно причиняет сильную боль, вот пациент и умоляет докторов избавить его от страданий.

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.