



РЕБЕККА ШВАРЦЛОУЗ

ЛАНДШАФТЫ МОЗГА

ОБ УДИВИТЕЛЬНЫХ ИСКАЖЕННЫХ
КАРТАХ НАШЕГО МОЗГА И О ТОМ,
КАК ОНИ ВЕДУТ НАС ПО ЖИЗНИ



Книжные проекты
Дмитрия Зимина

Ключ к пониманию нас самих в настоящем
и к принятию решений о том, как технологии,
основанные на анализе мозга, станут
определять жизнь нашего общества в будущем

Corpus

ЭЛЕМЕНТЫ 2.0

Элементы 2.0

Ребекка Шварцлоуз

**Ландшафты мозга. Об
удивительных искаженных
картах нашего мозга и о том,
как они ведут нас по жизни**

«Издательство АСТ»

2021

УДК 612.82
ББК 28.707.3

Шварцлоуз Р.

Ландшафты мозга. Об удивительных искаженных картах нашего мозга и о том, как они ведут нас по жизни / Р. Шварцлоуз — «Издательство АСТ», 2021 — (Элементы 2.0)

ISBN 978-5-17-152721-1

Мозг состоит из карт, и это не метафора. Наш мозг — это целый атлас, и его карты описывают наше тело, эмоции, движения и то, как мы воспринимаем окружающий мир посредством органов чувств. Наличие в мозге карт ученые обнаружили больше века назад, но лишь недавно удалось раскрыть некоторые их секреты и осознать их глубинное воздействие на нашу жизнь. Ландшафты мозга определяют нашу манеру мышления и объясняют, почему мы думаем, чувствуем и поступаем именно так, а не иначе. Строением карт мозга обусловлена, с одной стороны, уникальность нашей личности, а с другой — общность и взаимопонимание с остальными людьми. Автор книги нейробиолог Ребекка Шварцлоуз заставляет нас взглянуть на самих себя с новой точки зрения и раскрывает удивительную связь между нашим разумом и окружающим миром. В формате PDF A4 сохранен издательский макет книги.

УДК 612.82

ББК 28.707.3

ISBN 978-5-17-152721-1

© Шварцлоуз Р., 2021
© Издательство АСТ, 2021

Содержание

Вступление	6
1	10
2	22
Конец ознакомительного фрагмента.	26

Ребекка Шварцлоуз

Ландшафты мозга. Об удивительных искаженных картах нашего мозга и о том, как они ведут нас по жизни

© 2021 by Rebecca Schwarzlose

© Т. Мосолова, перевод на русский язык, 2024

© А. Бондаренко, художественное оформление, макет, 2024

© ООО «Издательство АСТ», 2024 Издательство CORPUS ®

Эта книга издана в рамках программы «Книжные проекты Дмитрия Зимина» и продолжает серию «Библиотека фонда «Династия»».

Дмитрий Борисович Зимин – основатель компании «Вымпелком» (*Beeline*), фонда некоммерческих программ «Династия» и фонда «Московское время».

Программа «Книжные проекты Дмитрия Зимина» объединяет три проекта, хорошо знакомых читательской аудитории: издание научно-популярных книг «Библиотека фонда «Династия»», издательское направление фонда «Московское время» и премию в области русскоязычной научно-популярной литературы «Просветитель».

Подробную информацию о «Книжных проектах Дмитрия Зимина» вы найдете на сайте ziminbookprojects.ru

*Книга посвящена моей матери
Салли Фрай Шварцлоуз, чьи вдохновение и поддержка помогли ей
появиться на свет.*

Вступление

Позвольте сразу внести ясность. Эта книга о реальных картах, существующих в нашем мозге. Это не метафора и не авторский прием. В нашем мозге действительно существуют карты. И не одна или две. Наш мозг – это целый атлас. Прежде чем объяснить, что я имею в виду, когда говорю о картах мозга, я расскажу, что я не имею в виду. В последнее время ученые и научные журналисты в статьях, научно-популярных книгах и лекциях часто называют исследования в области нейронаук “картированием мозга”. Под этим они понимают попытки определить, например, какой участок мозга отвечает за сонливость, а какой помогает выбрать конкретное блюдо в обширном ресторанном меню. Но в таком виде “картирование мозга” позволяет создать не карту, а скорее список известных участков мозга, подобный списку механических деталей в конструкции автомобиля. Каждый элемент – от коленчатого вала до глушителя – имеет специфическую функцию и располагается в автомобиле в строго определенном месте. Аналогичным образом в инвентарном списке деталей мозга перечислены отделы мозга, их расположение и предполагаемое назначение. Но каждый раз, когда нейробиологи обнаруживают в мозге какую-то область, которую хотят добавить к списку, они вынуждены сосредоточить на ней внимание и проанализировать ее более детально.

И когда они это делают, часто выясняется, что данная часть мозга имеет собственную внутреннюю организацию – удивительную структуру с настоящей картой.

В общем понимании карта – это пространственное отображение чего-то. Когда мы говорим о картах, то чаще всего представляем себе географические карты, описывающие какую-то местность на поверхности Земли. Но можно отобразить на карте поверхность Луны или расположение звезд далеких галактик. Однако на самом деле карты могут отображать не только физическую локализацию. Карты мозга описывают наше тело, чувства, движения и важнейшие источники информации в окружающем мире.

Чтобы оценить красоту мозговых карт, достаточно представить себе их координаты. Географические карты имеют пространственные координаты с такими единицами измерения расстояний, как километры или градусы широты и долготы. Точка на географической карте задает местоположение на поверхности Земли. А точка на карте мозга может отображать свет, запах, звук, прикосновение или укол. Зрительные карты нашего мозга отображают локализацию световых частиц, попадающих в тонкий слой клеток в глубине глаза. Слуховые карты передают частоты звука, ударяющего по чувствительным спиральям внутри ушей. Наши соматосенсорные карты имеют координаты тела и отображают каждое прикосновение, тепло и болевое ощущение на всех плоскогорьях и долинах нашей кожи. В мозге содержатся пространственные карты, позволяющие нам взаимодействовать с внешним миром, а также карты движения, отображающие наши действия: следующее моргание, глоток или шаг. В буквальном смысле это карты *нас* – нашего тела (от глазных яблок до ступней) и того, что мы делаем, в чем нуждаемся и как взаимодействуем с окружающим пространством. Мозг заполнен замечательными картами, отображающими все эти аспекты окружающего мира и не только.

Но карты мозга не просто удивительные. Они *важные*. Они позволяют многое понять о нас: почему мы запоминаем, воображаем, учимся и думаем так, а не иначе. Они позволяют нам всматриваться в разум других людей и даже других существ и предполагать, чем их восприятие отличается от нашего. Они показывают, как дети обучаются и адаптируются к окружающей среде, иногда с долгосрочными последствиями для здоровья и благополучия. Врачи, ученые и коммерческие компании все активнее используют мозговые карты для создания технологий, перекрывающих разрыв между компьютерами и мозгом. Короче говоря, мозговые карты имеют большое психологическое, философское, общественное и технологическое значение. Это ключ

к пониманию нас самих в настоящем и к принятию решений о том, как технологии, основанные на анализе мозга, станут определять жизнь нашего общества в будущем.

Работая над книгой, я обнаружила, что в рассказе о картах мозга прослеживается несколько тем. Первая тема – универсальность. Карты существуют в мозге больших и маленьких существ, от дрозофил до сомов и слонов. И не одна или две! Карты есть повсюду – от передних до задних долей мозга, слева и справа, вверху и внизу. По сути, именно этим занимается мозг всех существ на нашей планете: он создает карты. И во многих случаях это одинаковые карты. У вас и у меня карты приблизительно одного и того же типа, и многие из них похожи на карты существ, покрытых чешуей, перьями или мехом.

Вторая тема – уникальность карт мозга. Казалось бы, уникальность противоречит универсальности. Но это не так. Универсальность и уникальность – частые спутники в биологическом мире. Например, все люди оставляют отпечатки пальцев, но при этом особенности отпечатков пальцев в каждом случае делают их уникальными. То же самое справедливо для карт мозга, с той только разницей, что их особенности важны. Они влияют на способность человека или другого существа воспринимать, сосредоточиваться, запоминать, узнавать и реагировать на внешний мир. И в этом качестве мозговые карты являются ключом к пониманию того, как восприятие и даже некоторые способности, включая способность к чтению, созданию мысленных образов и тонкой моторике, различаются у разных людей.

Третья тема заключается в том, что карты мозга появились по необходимости. Это не украшение природного проекта. Без них восприятие в том виде, в котором оно нам доступно, было бы невозможно. Создание, питание и размещение мозга, способного хотя бы что-то видеть и чувствовать, сопряжено с огромными физическими сложностями. Построение мозговых карт – лишь первый шаг на пути их преодоления. И чтобы преодолеть эти сложности, мозговые карты не могут отображать окружающий мир достоверным образом. Они очень сильно искажены в целях сохранения энергии и пространства, и эти искажения, в свою очередь, определяют то, что мы видим и чувствуем. Этот удивительный факт является главной темой книги и отражен в ее названии. Как вы увидите, ландшафты мозга – это искаженное отображение реальности на картах мозга, определяющее наше восприятие.

Четвертая тема представляет карты мозга как результат трудного компромисса, не имеющего отношения к превосходству одних существ над другими. Если вы рассчитывали узнать из этой книги, почему одни люди умнее других или почему люди превосходят других обитателей Земли, советую обратиться к иным источникам. Карты мозга демонстрируют другую правду – правду об ограниченных ресурсах и скудных инвестициях. Когда какой-то вид развивает и доводит до совершенства определенные способности, например острое зрение, ловкость рук или умение слышать ультразвук, он неизбежно приносит в жертву и подавляет другие свои способности. Таким образом, карты мозга конкретных существ, включая нас, демонстрируют перцептивные и ментальные способности, необходимые для выживания этих существ. Карту мозга нельзя рассматривать в качестве показателя превосходства или неполноценности на основании ее внутренних свойств, ее качество можно оценивать только в контексте среды обитания и требований выживания.

Кроме того, карты мозга дают организму возможность адаптироваться. На протяжении жизни человека карты сохраняют способность обучаться на опыте и переформируют сами себя в соответствии с новой средой и новыми потребностями. Однако мозг новорожденных и маленьких детей особенно гибок, и поэтому опыт первых недель или месяцев жизни оказывает наиболее глубокое влияние на формирование карт для последующей жизни. Этот процесс обучения через окружающий мир дает детям возможность адаптироваться к нему, порой путем гигантской перестройки мозговых карт. Обычно это благоприятный процесс, помогающий детям развиваться в будущей жизни. Но если раннее влияние среды сопровождается хотя бы временным экстремальным опытом, таким как пребывание в больнице, недостаток

внимания или нарушения зрения, пусть даже корректируемые, такое обучение может оказывать обратное действие. Таким образом, карты мозга показывают, что дети чрезвычайно пластичны в отношении изменяющегося окружения, но могут очень сильно пострадать в результате подобного опыта.

Наконец, карты мозга предоставляют идеальную возможность для подглядывания за живым думающим мозгом и даже для прямых манипуляций с ним. Знания о картах мозга, накопленные к концу XIX века, позволили врачам успешно выполнять нейрохирургические операции. Сегодня информация о дополнительных мозговых картах помогает установить, что некоторые люди, существующие, казалось бы, в полностью вегетативном состоянии, на самом деле находятся в сознании и понимают, что происходит вокруг. Это своего рода вариант чтения мыслей – мы не просто расшифровываем, что человек видит или чувствует в конкретный момент, но также что он вспоминает, что представляет себе и о чем мечтает. Эта возможность способствует развитию нейропротезирования, цель которого заключается в восстановлении подвижности парализованных людей или в возвращении зрения слепым. Недавние попытки коммерческих компаний осуществить прямую интеграцию компьютеров и человеческого мозга (этот процесс открыл двери частным инвесторам и корпорациям) тоже основаны на информации о картах мозга.

Как видно из перечисления тем, карты мозга оказывают глубокое и обширное влияние на мышление, здоровье и технологии. Их существование важно не только для ученых, но и для каждого живого существа. Они важны для вас, хотя, возможно, вы никогда и ничего о них не слышали, и помогают найти ответы на вопросы, которые являются настолько фундаментальными для обыденной жизни, что вы, возможно, никогда их не задавали. *Почему, вспоминая событие, мы как бы заново его переживаем? Почему я использую руки для осязания вещей? Почему я не могу вообразить иные ощущения, кроме тех, которые даются мне моими пятью чувствами? Почему дети лучше взрослых обучаются новым навыкам, таким как игра на музыкальном инструменте? Почему я не в состоянии одновременно обращать внимание на все, что происходит вокруг? Почему компьютер так хорошо умеет предсказывать слово, которое я собираюсь напечатать, но так плохо понимает, что я на самом деле имею в виду?* Я пишу эту книгу не только для того, чтобы ответить на эти вопросы, но и для того, чтобы получить удовольствие от их постановки.

“Ландшафты мозга” – не учебник. Эта книга не научит вас играть в гольф и не наладит вашу личную жизнь. Она не предлагает способов излечения от недугов или достижения финансового благополучия. Книга предлагает нечто совсем иное: возможность взглянуть на жизнь с другой точки зрения. Кажется очевидным, что мы чувствуем и как думаем. Но за этой очевидностью скрыто множество чудес. Карты мозга изо дня в день формируют наш опыт. Они рассказывают интересную историю – одновременно общую и глубоко личную. Они раскрывают неожиданную правду о нашем месте в этом мире и о месте мира внутри нас. Они поднимают важные вопросы о том, что реально, что подлинно, что лично. И показывают, как из суровой необходимости может возникнуть нечто прекрасное и даже поэтическое.

В книге описано лишь несколько мозговых карт, но каждая из них играет жизненно важную роль в восприятии мира и во взаимодействии с ним. Книга рассказывает о том, что такое карты мозга, почему они существуют и как тело диктует мозгу, какие карты ему нужны. Она демонстрирует, как эти карты служат станком, на котором плетутся нити восприятия, внимания, воображения и мечтаний. Как карты формируют наши мысли и способности, как они стимулируют и одновременно сдерживают нас.

Мозг часто представляют в качестве невероятно сложной структуры. Писатели и ученые иногда сравнивают его со звездным небом, чтобы подчеркнуть наличие в мозге гигантского количества клеток и связей между ними. Хотя такое сравнение вызывает вполне оправданное благоговение, оно одновременно изображает мозг далеким – недостижимым и непознаваемым.

Но анализ мозга через содержащиеся в нем карты – это мощный подход для понимания мозга в качестве близкого союзника. Наш мозг тончайшим образом настроен на наши нужды и на нас самих – на структуру тела и его чувствительность, на наши способности и ограничения, на окружающее пространство, а также на инструменты и источники энергии, помогающие нам жить.

Да, мозг сложен. Но он не недостижим и находится совсем не в небесах. Он там, где вы. И это поистине удивительно.

1

Атлас человека: что такое карты мозга?

Как и многие другие научные открытия, обнаружение скрытых от глаз карт мозга было связано со случайностью и страданием. Первые карты были найдены благодаря двум вещам – пулям и слепоте. История их пересечения показывает, что такое карта мозга и в чем ее смысл. Шел 1904 год. Две империи – Россия и Япония – вели войну за владычество на суше и на море. С ростом числа ранений японские власти обратили внимание на одну странность: появилось удивительно большое количество частично или полностью ослепших раненых. Во многих случаях, как и следовало ожидать, слепота явилась следствием повреждения глаз¹. Но почти четверть случаев была связана с повреждением мозга, причем доля таких раненых была выше, чем в предыдущих войнах.

Этот факт отражал изменения в вооружении. Русские использовали оружие нового образца – скорострельные винтовки Мосина, модель 91. Пули для такой винтовки имели диаметр 7,6 миллиметра, что меньше, чем в предыдущих моделях. Они вылетали из ствола с начальной скоростью 620 метров в секунду и быстрее достигали цели. Это позволило русским стрелять быстрее и попадать в цель. Но одновременно изменился и характер ранений. Раньше пули, попадавшие в голову, разбивали череп или вызывали ударную волну, сильно повреждавшую мозг. При стрельбе из винтовки Мосина 91 этого не происходило. Новые пули проскальзывали через кости и мозг, оставляя небольшие аккуратные отверстия, как ровные дырочки на бумажной мишени. И поэтому многие солдаты выживали после ранения в голову и их ранения в меньшей степени сопровождались нарушениями мышления и восприятия, чем у людей с ранениями головы в предыдущих войнах.

Японские солдаты с ранениями определенной части головы сообщали об ухудшении зрения. У них в поле зрения возникали провалы – слепые пятна, называемые скотомами, которые перемещались в поле зрения при переводе взгляда с одной точки на другую. Скотома может возникать при повреждении глазного яблока. Однако эти конкретные скотомы были вызваны ранениями в странном месте – в задней части головы, далеко от глаз.

Эти провалы в поле зрения по размеру и локализации были разными у разных пациентов. У одного мужчины скотома располагалась в дальнем правом углу поля зрения, и куда бы он ни смотрел, предметы с правой стороны оказывались скрыты. Другой не мог видеть предмет, находившийся прямо перед ним; если он пытался смотреть прямо на напечатанное слово или на лицо жены, темное пятно все закрывало.

Такие скотомы нарушали зрение пациентов вне зависимости от того, пытались ли они смотреть только левым глазом, только правым глазом или обоими одновременно. Стало ясно, что эти повреждения остаются на всю жизнь. Для компенсации увечий и ввиду отсутствия возможности для этих людей зарабатывать на жизнь в будущем правительство Японии постановило выделить им более высокую пенсию, что было сложным предприятием для бюрократической империи. Для определения размера пенсии каждому солдату нужно было документально засвидетельствовать локализацию скотомы и ее размер.

¹ Mishima S. *The History of Ophthalmology in Japan*. Belgium: J. P. Wayenborgh, 2004; Glickstein M., Whitteridge D. *Tatsuji Inouye and the Mapping of the Visual Fields on the Human Cerebral Cortex*. Trends in Neurosciences. 10 (1987): 350–53; Kauffmann Jokl D.H., Hiyama F. *Tatsuji Inouye – Topographer of the Visual Cortex, Exemplar of the Germany-Japan Ophthalmic Legacy of the Meiji Era*. Neuro-Ophthalmology. 31 (2007): 33–43; Gross C.G. *Brain, Vision, Memory: Tales in the History of Neuroscience*. Cambridge, MA: MIT Press, 1998; Tatsuji I. *Die Sehstörungen bei Schussverletzungen der kortikalen Sehsphäre: Nach Beobachtungen an Verwundeten der letzten japanischen Kriege*. Leipzig, Germany: W. Engelmann, 1909.

Мрачная обязанность по сбору этой информации выпала на долю доктора Таудзи Иноуэ – молодого офтальмолога, который к началу войны только закончил учиться. Иноуэ стал проверять поля зрения раненых солдат. Поле зрения – это диапазон видимости во всех направлениях, достижимый для человека без поворота головы. Когда мы смотрим на какую-то точку в пространстве, мы при этом видим еще что-то выше, ниже, слева и справа от нее. При нормальном зрении мы лучше видим то, что расположено в центре, т. е. в той точке, на которую смотрим. Однако мы одновременно получаем зрительную информацию из точек пространства, отдаленных от центра поля зрения, как говорится, замечаем что-то “краем глаза”. Специалисты по зрению и офтальмологи называют эти отдаленные от центра участки поля зрения периферией. Таким образом, поле зрения складывается из центральной области и периферии. Офтальмологи могут исследовать поле зрения разными способами: направлять луч света в разные участки поля зрения пациента или указывать на эти участки пальцем с просьбой их назвать. Если пациент не видит объекты в какой-то части поля (скажем, в нижней левой зоне), возможно, у него есть скотома.

По долгу службы армейского врача Иноуэ бесчисленное множество раз обследовал поля зрения пациентов с пулевыми ранениями головы или другими травмами и составил об этом подробный отчет. Хотя правительству нужны были лишь данные для определения размера пенсии, молодой врач рассудил, что эта информация может помочь разрешить давнюю научную загадку: где в человеческом мозге находится центр зрительного восприятия и как именно представляется там зрительное изображение? Ученые искали ответы на эти вопросы на протяжении десятилетий. Они предполагали, что в мозге есть карта зрительной информации, однако ее точная локализация и строение оставались неизвестными.

Карта – это пространственное отображение чего-либо. Следовательно, карта мозга – это пространственное отображение чего-то *в мозге*. У мозга есть размер и форма, задняя и передняя части, верх и низ. Поэтому достаточно легко представить себе, что в мозге есть некая *пространственная структура* – нечто, что занимает место на его поверхности, в пучках и складках. Но что происходит, когда мозг *отображает* что-то из внешнего мира – будь то след краски или звук сирены?

Ответ на этот вопрос начинается не в мозге, а в других частях тела. Точнее, в тех ключевых участках, где тело соприкасается с внешним миром. Самая обширная и очевидная зона контакта – это кожа, но также сетчатка, расположенная на дне глазных яблок. А еще улитка в глубине каждого уха. И тонкие ткани, выстилающие изнутри наши ноздри, и влажные поверхности языка и ротовой полости. Именно здесь все происходит. Эти поверхности – входные двери, через которые мы получаем информацию из внешнего мира. Эти поверхности покрыты чувствительными рецепторными клетками, которые детектируют во внешнем мире информацию и передают ее в мозг в виде внутренних сообщений. Эти рецепторы чрезвычайно ценны. Без них наша жизнь протекала бы в отрыве от внешнего мира.

Давайте поближе рассмотрим один элемент, связывающий нас с реальностью, – кожу. Кожа имеет непрерывную поверхность. Если вы посмотрите на какую-то специфическую точку кожи, с большой вероятностью слева и справа, выше и ниже тоже будет кожа. Конечно же, разрывы есть, такие как глаза, рот и ноздри. Но вокруг них кожа продолжается, как вокруг озера продолжается берег. Кожа стопы прилегает к коже щиколотки, а та соседствует с кожей голени. Иными словами, свойства кожи распространяются на непрерывную поверхность. Это означает, что кожа, как поверхность Земли или Луны, имеет топографию, или ландшафт. Представьте себе живущих на нашей коже микробов. Если бы колонии микробов умели общаться и исследовать территорию, они могли бы расчертить ландшафт (кожный покров) нашего тела и путешествовать по этой территории, ориентируясь на указатели. Хотите попасть под мышку? Возьмите вправо у пупка, а потом влево после той странной родинки.

Но хотя наша кожа непрерывна, тактильные рецепторы дискретны. В коже много тысяч рецепторов. Одни реагируют на повреждения и на сигналы боли, другие регистрируют давление, вибрацию или тепло. Рассмотрим группу рецепторов, специфическим образом реагирующих на давление и вибрацию кожи. Благодаря им мы можем чувствовать удары и отличать гладкую поверхность от шершавой. Каждый такой рецептор творит чудеса в одной конкретной точке на поверхности кожи. Рецептор на коленной чашечке правой ноги настроен на восприятие и передачу сигнала прикосновения к конкретному участку этой коленной чашечки. И все. Представьте себе его как землевладельца-затворника, притаившегося со своим ружьем: “Весь мир может делать, что ему вздумается, но если кто-то ступит ногой на мою землю, он дорого за это заплатит!”

Для этого маленького коленного рецептора важна только территория колена. Ученые называют рецептивным полем то поле (или зону), из которого клетка получает информацию. Изменение давления в рецептивном поле вызывает реакцию – клеточный сигнал. *Что-то происходит!* Изменение давления вне рецептивного поля ничего не вызывает. Как землевладельцы, одни рецепторы отвечают за более обширные участки, чем другие, но активность всех рецепторов ограничена только их конкретным участком кожи. Не спрашивайте рецептор колена, что происходит на спине. Он не отличит превосходный массаж от удара или от полного отсутствия контакта. Каждый чувствительный рецептор рассказывает историю только маленького участка кожи и передает ее в мозг.

Именно с этого начинается отображение. Сигналы, посылаемые одним рецептором, скажем, с кожи правого колена, отображают давление на этот участок кожи. И поэтому, если я хочу узнать, давит ли что-то на ваше колено, мне не обязательно исследовать колено. Вместо этого я могу прислушаться к сигналам, идущим от кожи к мозгу. Сигнал от этого рецептора сообщит все, что мне нужно знать об этом конкретном участке кожи. Сигнал *отображает* физическую силу, действующую на конкретную часть тела.

Представьте себе, что мы следуем за сигналом, отправленным рецептором вашего колена в мозг, где он достигает клетки мозга, называемой нейроном. При этом, заметьте, сигнал приходит не к первому попавшемуся нейрону. Наш ценный сигнал достигает только правильного нейрона, который специализируется на сборе информации о прикосновении, но не о свете, вкусе, запахе или звуке. Более того, этот нейрон имеет *узкую специализацию* и собирает информацию только о прикосновениях в области колена, но не локтя или лица. И хотя нейрон находится в мозге, а не на коже, у него есть рецептивное поле – чертеж кожи колена. И это все, что он знает; он получает информацию только об этом отдельном участке.

Аналогичным образом, когда этот нейрон готов отправлять сигнал в другие части мозга, он может сообщить только то, что знает: информацию о прикосновении к колену. Хотя нейрон находится не в колене, а в голове, его сигнал отображает тактильную информацию о колене. Когда клетка отправляет сигнал в другие части мозга, этот сигнал что-то *означает*. Он отображает происходящее на каком-то конкретном участке кожи. Именно в этом заключается идея об отображении в мозге, и именно это является необходимым элементом для построения карт мозга и реализации многих его функций. Если бы мозг не создавал таких отображений, мы бы не выжили. Мозг позволяет нам собирать информацию от наших чувствительных рецепторов и посылать инструкции мышцам *только* за счет возможности отображать, что чувствуют рецепторы и как двигаются мышцы.

Благодаря этому отображению, анализируя активность мозга человека, нейробиологи могут определять, что чувствует кожа. И также могут создавать у человека тактильные ощущения, дотрагиваясь напрямую до его мозга. И это важная сторона отображения: когда мы знаем, как это работает, мы можем регистрировать сигналы мозга и даже их изменять.

Отображение зрительных сигналов происходит примерно так же, как отображение тактильных. Зрение начинается в задней части глазного яблока. Когда крохотные частицы света,

фотоны, попадают в глаз, они проходят через глазное яблоко и приземляются на тонкой ткани сетчатки. В сетчатке содержатся миллионы чувствительных рецепторов, улавливающих фотоны света.

Кожа непрерывна, и сетчатка, выстилающая заднюю часть глазного яблока, тоже представляет собой непрерывный слой. Сетчатка, как кожа, тоже характеризуется наличием топографии. В частности, в сетчатке есть заметное углубление – центральная ямка. Когда вы смотрите, скажем, на красный сигнал светофора, свет от этого источника попадает в глаз и встречается с чувствительным рецептором в центральной ямке. Поскольку свет распространяется по прямой, а рецепторы глаза зафиксированы на месте, рецептор центральной ямки улавливает и отображает только тот свет, который поступает из центра поля зрения – оттуда, куда вы смотрите в этот момент. Аналогичным образом рецептор, расположенный на отдалении от центральной ямки, обнаружит и отобразит только свет, идущий из другой точки пространства, удаленной от того места, куда направлены ваши глаза. Итак, рецепторы глаз, как и рецепторы кожи, имеют рецептивные поля, позволяющие сетчатке и в конечном итоге мозгу *отображать* информацию, собираемую глазами, – отображать то, что мы видим.

Но хотя кожа и сетчатка – непрерывные поверхности, наша способность чувствовать прикосновение кожей или свет глазом не является непрерывной. Она формируется как сумма маленьких сигналов, идущих от мельчайших участков. Как мозаика из цветных фрагментов, формирующих единую осмысленную картину, наши ощущения света и прикосновения составляются воедино из отдельных фрагментов информации. То же самое справедливо и в отношении слуха.

Как эти обрывки восприятия интегрируются, образуя более цельный тактильный, зрительный или звуковой опыт? Ученые пока не знают окончательного ответа на этот вопрос, но им известно, что интеграция происходит не одновременно. Мозаика информации, которую мы получаем от наших чувствительных рецепторов, складывается за несколько этапов (рис. 1). Эти этапы реализуются по мере перемещения информации об отображении из одной части мозга, имеющей свою карту, в другую часть. Возможно, кажется удивительным, что наше восприятие мира активно создается мозгом из тысяч точек, и странно представлять себе, как эти точки возникают и постепенно сливаются на нескольких картах, создавая знакомый нам опыт. Однако именно такова реальность восприятия и удивительная природа наших чувств.

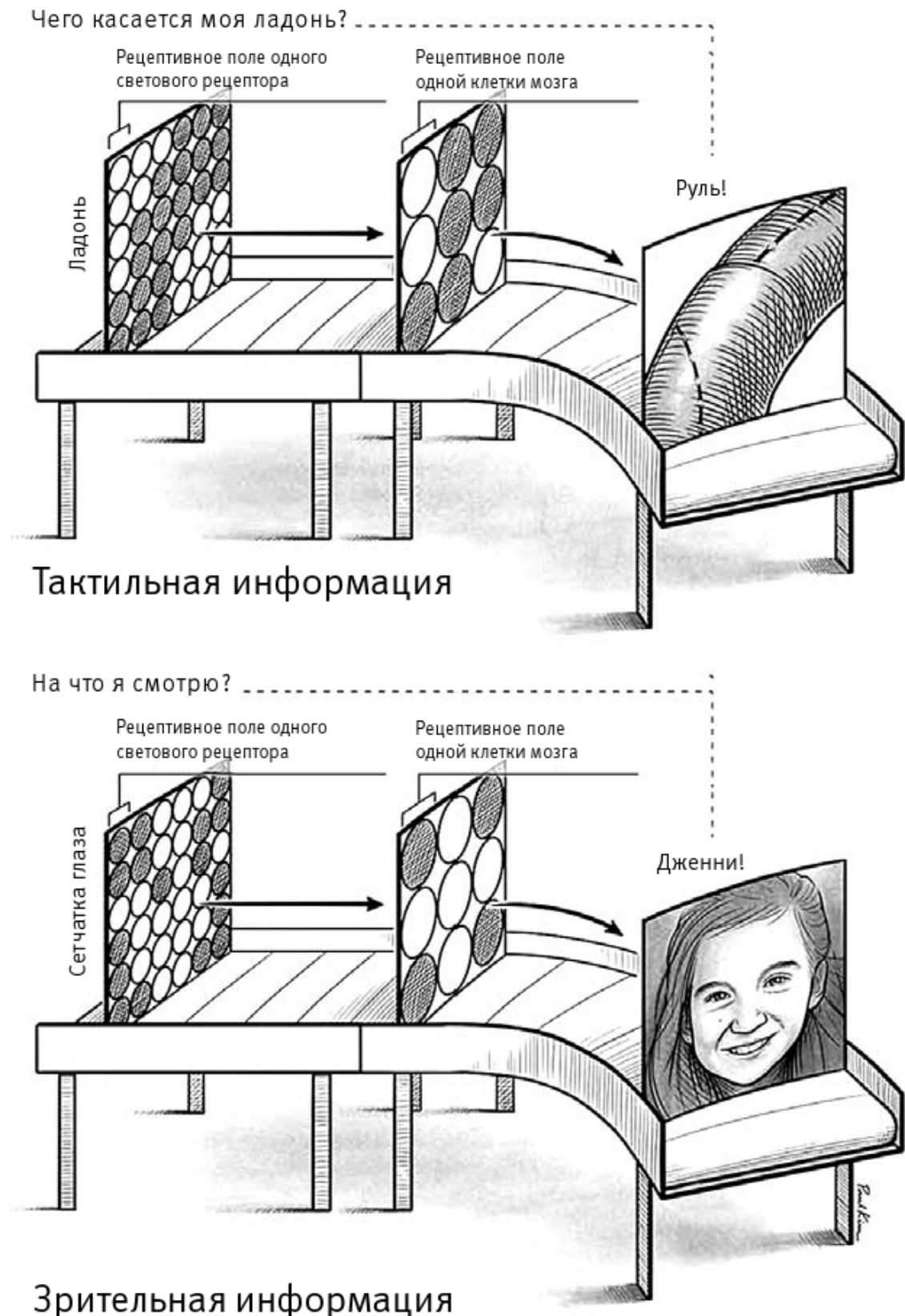


Рис. 1. Схема превращения рецептивных полей в нейронные отображения в тактильной (вверху) и зрительной (внизу) системе. *Художник Пол Ким.*

В конце XIX века, незадолго до того, как Тацудзи Иноуэ начал изучать пулевые ранения и исследовать поля зрения, большинство ученых пришли к выводу, что зрительный образ формируется где-то в задней части мозга. Они уже знали, что отображение является простран-

ственным и что схема образа в мозге отражает картину световых сигналов, попадающих в глаз. Однако не было известно точно, где и как располагается эта странная карта.

Шведский невропатолог Саломон Хеншен, обследовавший более сотни пациентов, правильно указал место в задней части мозга, где формируется зрительный образ². Он даже предложил теорию формирования карты в этом участке, но его объяснение оказалось неверным. Повреждения мозга его пациентов были слишком разнообразными для проведения более тщательных наблюдений. Примерно через десять лет молодому Иноуэ удалось сделать то, чего не смог Хеншен, и в значительной степени его успех стал возможен благодаря жестокой эффективности новых русских винтовок. Чистые и четко очерченные отверстия от пуль, выпущенных из этих винтовок, и создаваемые ими небольшие скотомы позволили связать пулевые отверстия со слепотой и в результате обнаружить зрительные карты, спрятанные в мозге у солдат.

Иноуэ понимал, насколько важны доскональные измерения. Чтобы построить точную карту зрительного центра мозга, он должен был тщательно измерить как скотому, так и пулевое отверстие в голове каждого солдата. Измерения полей зрения уже проводились точно и регулярно, но Иноуэ нуждался в собственном методе измерения и сравнения повреждений мозга у раненых. Он придумал инструмент, названный краниокоординатометром, который представлял собой набор линеек, соединенных с помощью регулируемых зажимов (рис. 2). Эта конструкция надевалась на голову человека, как шлем, и Иноуэ мог аккуратно измерять параметры разных голов. Он экстраполировал траекторию движения пули через голову и сопоставлял ее с локализацией и размером слепого участка в поле зрения каждого пациента.

В 1909 году Иноуэ опубликовал результаты осмотра 29 солдат. В его отчете содержалось подробное описание реальной карты зрительного пространства в человеческом мозге. В отличие от Хеншена, Иноуэ почти все детали установил правильно. Его карта распадается на две половины – каждая на одной стороне головы. И обе располагаются в самой задней части мозга – в области, которую теперь называют первичной зрительной корой, коротко – V1. Отображение в этой области перевернуто по сравнению с тем, что происходит в поле зрения, на котором оно основано: в тканях мозга изображение травы и земли находится над изображением неба и облаков. Изображение также перевернуто слева направо, так что правое поле зрения отображается слева, и наоборот. Более того, этот зрительный образ сильно искажен, как будто в то место, где на карту нанесена информация из центра поля зрения, положили сильное увеличительное стекло. Но открытия Иноуэ на этом не закончились. Он представил интригующие доказательства того, что карта V1 не единственная: в человеческом мозге спрятаны и другие зрительные карты.

² Henschen S. *On the Visual Path and Centre*. Brain. 16 (1893): 170–180.

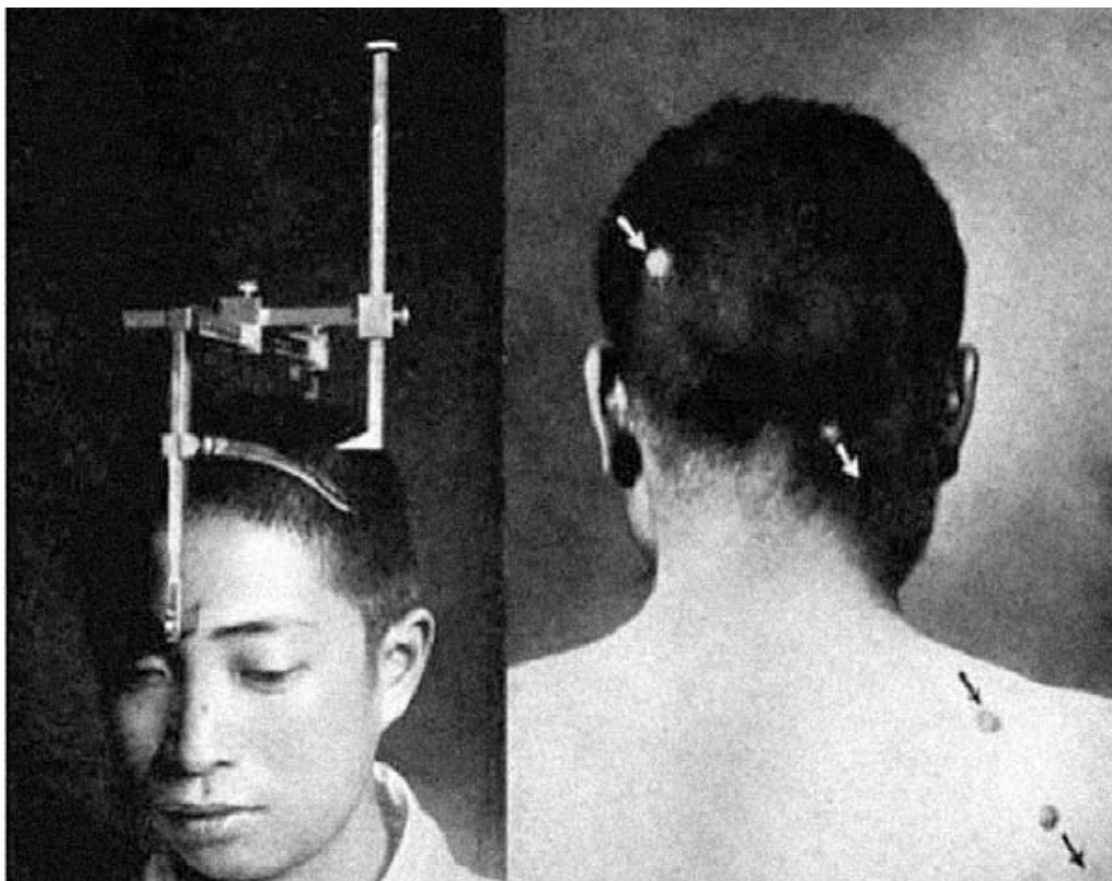


Рис. 2. Фотография солдата, обследованного Иноуэ, на ней продемонстрировано применение краниокоординатора (слева) и показана траектория движения пули через тело солдата (справа). Источник: *Die Sehstörungen bei Schussverletzungen der kortikalen Sehsphäre (Зрительные нарушения как результат пулевого ранения в зрительной области коры)*. Leipzig: W. Engelmann, 1909.

Карты каждого из нас

Прослеживая непосредственную связь между локализацией повреждения в мозге и местом расположения слепого пятна, Иноуэ обнаружил первую из известных зрительных карт мозга. Впрочем, утверждение, что в мозге существует зрительная карта (не говоря уже о том, что их несколько), может показаться нам абсурдным. Возможно, это связано с нашим привычным опытом обращения с географическими картами. Мы привыкли к таким зрительным указателям, как туристические планы или схемы линий метро. А эти карты состоят из материи – реальной физической материи, такой как краска на бумажном листе, изготовленном из древесной целлюлозы.

Конечно, сегодня мы часто видим карты на экранах, и это показывает, в какой степени несущественно, из чего сделана карта. Когда мы загружаем на экран компьютера маршрут передвижения, этот маршрут представлен в виде световых волн разной длины, исходящих от экрана. Если мы распечатаем этот план на бумаге, чтобы взять с собой в дорогу, мы воссоздаем его на бумаге, но изображение остается тем же самым. И в этом прелесть отображения: оно позволяет нам обмениваться информацией о сущностях и явлениях без необходимости их воспроизведения. Мне не нужно заново строить пирамиды, чтобы показать вам, как они расположены в Гизе. Мне нужны лишь ручка и лист бумаги, палец и запотевшее стекло или

палочка на песчаном пляже. Короче говоря, совсем не важно, из чего сделана карта. Она может быть фактически из любого материала.

Карты мозга не нарисованы на бумаге и не отображены на экране; они сделаны из клеток. В мозге содержится несколько видов клеток, половину из которых составляют нейроны. Нейроны связаны между собой красивыми ветвистыми отростками, переносящими электрические и химические сигналы от одного нейрона к другому. Нейрон может производить электрические импульсы один за другим, и скорость испускания этих импульсов зависит от той информации, которую отображает нейрон.

Когда я говорю о скорости испускания импульсов, называемой скоростью возбуждения, я сразу представляю себе школьный класс, в котором младшие школьники стараются привлечь внимание учителя: “Меня, меня, спросите меня! А меня?!” Чем чаще они выкрикивают, тем настоятельнее звучит их призыв – будь то желание ответить на вопрос учителя или просьба отлучиться в туалет. Выкрики учеников в школьном классе, как импульсы, посланные разными нейронами мозга, могут иметь совершенно разный смысл. Но в любом случае частота испускаемых сигналов отражает срочность или важность сообщения. Когда скорость возбуждения нейрона возрастает и происходит быстрый залп импульсов, значит, в этот момент нейрон хочет передать важную информацию.

Представьте себе, что мы вскрываем чей-то череп и расправляем складки задней части мозга, так что область V1 предстает в плоском виде. Эта плоская поверхность мозга состоит из нейронов, как бумага – из древесной массы. Лист нейронов аналогичен листу бумаги, на которой печатают обычную карту. Но вместо красок разного цвета карты мозга представляют информацию через частоту возбуждения нейронов, из которых они состоят: одни возбуждаются активно, а другие почти совсем не возбуждаются. В техническом аспекте частота возбуждения нейрона – это число электрических сигналов, которые он посылает за определенный промежуток времени. Можно сказать, что в картах мозга электричество и время играют такую же роль, как краска на обычных картах.

Клетки, электричество и время. Это сырье, необходимое мозгу для создания карт.

Возможно, к концепции карт мозга нужно привыкнуть. Они не похожи на обычные карты. Однако карта в области V1 по своей сути не отличается от карты в бардачке автомобиля. Аналогично тому, как мы превращаем карту на экране компьютера в карту, распечатанную на бумаге, мы переносим эту же карту с листа бумаги в область V1, просто глядя на нее. Одна не хуже другой, и все они вполне реальные.

Еще одно отличие карт мозга от обычных географических заключается в том, что первые изменчивы. Географическая карта, начерченная на папирусе или выгравированная на панно, неподвижна и неизменна. И это нормально, поскольку ландшафтные ориентиры неподвижны, а географические изменения происходят медленно. Когда такие изменения случаются, печатные карты устаревают. Они не могут автоматически обновляться, чтобы соответствовать изменениям, происходящим в мире. Так что нам остается только выбросить старые карты и сделать другие.

Но некоторые карты *могут* обновляться. Представьте себе карту на приборном экране автомобиля или мобильного телефона. Компьютерные карты могут обновляться и включать в себя информацию о новых торговых центрах или закрытых на ремонт съездах с шоссе. В этих картах используется технология GPS, определяющая наше теперешнее положение в пространстве. Таким образом, наша динамическая компьютерная карта обновляется по мере передвижения. Когда мы движемся к северу, карта на экране тоже движется на север, и мы всегда видим ориентиры, находящиеся в непосредственной близости от нас. Такая карта полностью сбивала бы с толку вне контекста нашего путешествия и в отрыве от знакомой и важнейшей реперной точки – нас самих. Но хотя совмещенный с GPS экран постоянно изменяется или обновляется по мере передвижения, он по-прежнему остается картой. И поскольку на нем есть

точка отсчета (наше теперешнее положение в пространстве), мы без труда понимаем эту динамическую карту.

Карта области V1 тоже динамическая. Когда мы перемещаемся из одной точки в другую, обводим глазами пространство или когда движутся окружающие нас предметы, информация на карте обновляется. Но, как и в случае с экраном навигатора, изменение информации, отображаемое в зоне V1, не дезориентирует нас, поскольку оно тоже привязано к знакомой и важной точке отсчета: положению нашего тела и направлению взгляда.

Каким бы странным это ни казалось, карты могут быть сделаны из клеток мозга и могут обновляться и изменяться. Но понять концепцию карт мозга непросто еще вот почему. Даже карту, нарисованную на запотевшем стекле или прочерченную на песке, можно увидеть. Но карта V1 не подсвечивается синим светом, когда мы любимся океаном, и не разделяется на темные квадраты, когда мы смотрим на шахматную доску. Разве карта не должна быть такой, чтобы мы могли ее видеть?

Ответ на этот вопрос отрицательный. Чтобы понять, почему это так, давайте рассмотрим один короткий мысленный эксперимент из истории разведки. Хотя мы привыкли думать, что шифры и шпионские сообщения являются современным изобретением, невидимые чернила применяются для передачи секретной информации уже на протяжении сотен лет. Во время американской революции Джордж Вашингтон и его шпионы использовали невидимые чернила, изготовленные по специальному рецепту; такие чернила можно было увидеть только при контрастном окрашивании³. Написанные ими разведывательные данные, а также планы и, вполне возможно, карты, начерченные невидимыми чернилами, передавались незамеченными и изменили ход войны.

Представьте себе, что один из шпионов Вашингтона использовал такие чернила для зарисовки плана оккупированного Нью-Йорка, отметив места сосредоточения британских войск. Была ли такая невидимая карта настоящей картой? Конечно, да. И Джордж Вашингтон смог бы подтвердить это, обработав бумагу контрастной краской, чтобы чернила стали видимыми. Информация на карте при нанесении красителя не изменилась. Карта отражала план города Нью-Йорка до и после того, как стала видимой невооруженным глазом.

Эта сказка о невидимых чернилах Вашингтона вызывает интересный вопрос: нельзя ли нанести на карту V1 контрастную краску и сделать ее видимой? В 1988 году группа специалистов, занимающихся зрением, сделала именно это и продемонстрировала карту области V1 макаки⁴. Как человек и другие приматы, макаки в значительной степени ориентируются с помощью зрения и имеют карты V1, аналогичные нашим картам.

В этом эксперименте обезьяны смотрели на изображение, вспыхивающее на мониторе компьютера, а им в кровь в это время вводили похожее на сахар вещество, но только с радиоактивной меткой. Наиболее активные нейроны в области V1 захватывали радиоактивное вещество (по той причине, что активно возбуждающиеся нейроны требуют больше энергии). Далее обезьян усыпляли, так что у них переставало биться сердце, и после этого ученые вводили в ткани мозга консерванты, вынимали мозг из черепа и отделяли зрительную кору от остальных частей мозга. Они разравнивали V1, так что она превращалась в плоский лист, замораживали ее и делали срезы с помощью замороженного лезвия. Затем они клали на замороженные срезы рентгеновскую пленку и оставляли на срок от двух недель до трех месяцев, до проявления. Ученые обнаружили удивительные изображения того, что видели обезьяны за несколько недель или месяцев до смерти. Один пример показан на рис. 3: слева изображено то, на что смотрела

³ *Washington and his spies / Nagy J.A. George Washington's Secret Spy War: The Making of America's First Spymaster. New York: St. Martin's Press, 2016.*

⁴ *Tootell R. et al. Functional Anatomy of Macaque Striate Cortex: II. Retinotopic Organization. Journal of Neuroscience. 8 (1988): 153–68.*

обезьяна, а справа – картина активности на карте V1, которую удалось визуализировать на срезе мозга животного.

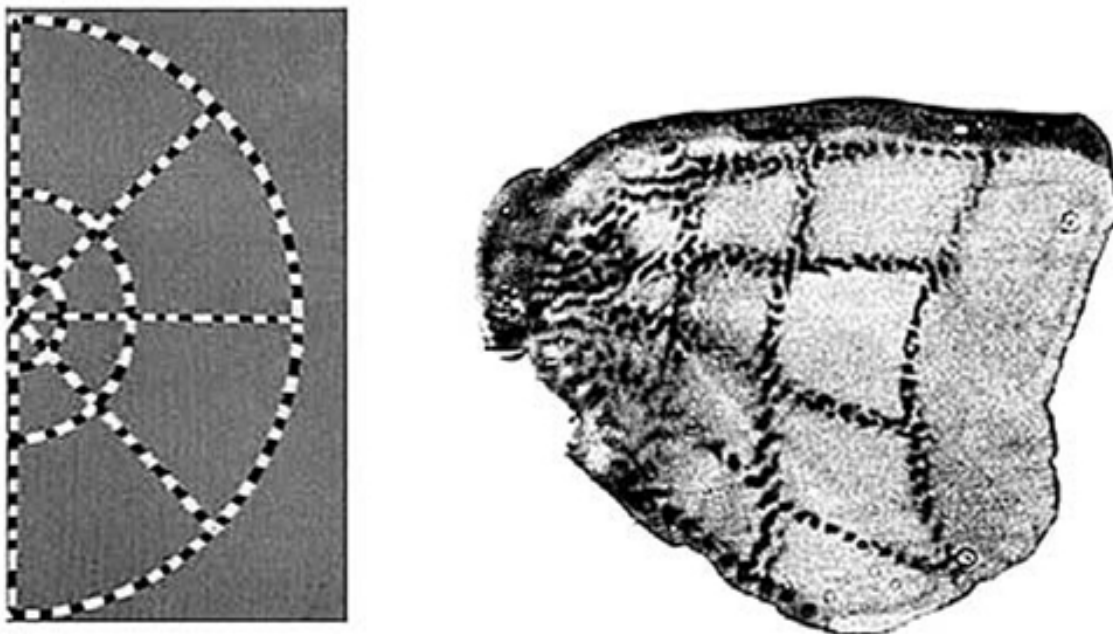


Рис. 3. Соответствие между изображением в правой части поля зрения (слева) и отображением этой информации в виде активности левой половины зоны V1 зрительной карты мозга (фотография среза мозга справа). Источник: The Journal of Neuroscience, vol. 8, no. 5. Copyright © 1988 by the Society for Neuroscience.

Подобно тому, как генерал Вашингтон использовал контрастный краситель, чтобы сделать видимыми полученные им письма и планы, ученые смогли сделать видимой карту V1 путем обработки, развертывания, замораживания и проявки мозга. Иными словами, да, мы можем открыть мозг и увидеть карту в области V1, но это сложно. Новые технологии дали нам более простые способы визуализации карт мозга. Вообще говоря, для этого подходит любой метод, который может превратить возбуждение нейронов в свет в видимом диапазоне длин волн.

Даже беглый взгляд на эти изображения позволяет выявить очевидное несоответствие: картинка в мозге достаточно сильно отличается от изображения на экране. И это не ошибка. Активность нейронов в области V1 мозга обезьяны не является некачественным отображением того, что видела обезьяна перед смертью. Карта области V1 очень сильно искажена. Маркерные точки на рис. 4 показывают, как именно. Вертикальная прямая линия в левой части исходного рисунка в мозге растягивается в широкую С-образную полосу, тогда как ровный полукруг в правой части исходного рисунка уплощается и даже слегка инвертируется. Рисунок переворачивается, так что верхняя часть экрана оказывается в нижней части карты V1. Но это еще не все: что-то не так с отображением концентрических окружностей, так что самый маленький полукруг занимает слишком много места. Именно эти аномалии обнаружил Иноуэ более ста лет назад.

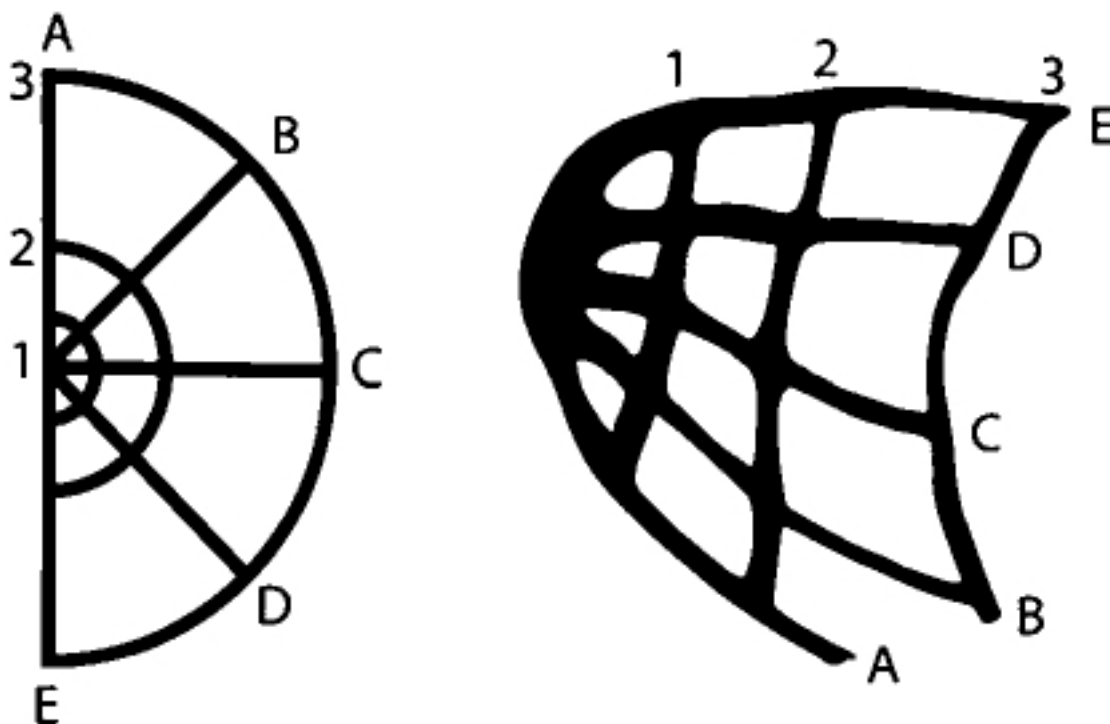


Рис. 4. Маркерные точки на видимом изображении (слева) и на соответствующей карте активности в зрительной области V1 в мозге обезьяны (справа) показывают, каким образом инвертировано и искривлено изображение на карте V1. Источник: Paul Kim, *The Journal of Neuroscience*, vol. 8, no. 5. (с модификациями). Copyright © 1988 by the Society for Neuroscience.

Благодаря работам Иноуэ и нескольких других ученых до и после него было обнаружено неизвестное ранее место, где происходит зрительное восприятие. Этот участок спрятан в складках задней части нашего мозга. Он содержит нейронную карту, которая отображает зрительную информацию при помощи электричества и времени. На рис. 5 показано, где спрятана область V1 и как выглядит на ней зрительное изображение. Именно эту карту продырявили пули у пациентов Иноуэ, оставив прорехи в поле зрения, хотя оба глаза у них функционировали нормально.

Существование такой карты в нашем мозге может показаться странным и неправдоподобным. Однако такие карты, как V1, являются не исключением, а правилом. Мозг больших и маленьких существ переполнен подобными картами. В последующих главах мы поговорим об их замечательном разнообразии и о том, как их особенности и искривления формируют наши мысли и опыт. Но сначала нужно ответить на важнейший вопрос: зачем мозгу столько карт? Ответ можно найти в устройстве электронных приборов и в эволюции, и связан он со столь разными темами, как голодный мозг и фантастическая способность примитивного пустынного муравья ориентироваться в пространстве. Вы увидите, что на самом деле невероятной является наша способность вообще что-либо видеть. Такие зрительные карты, как в области V1, являются решением проблемы, о существовании которой вы никогда даже не подозревали. Они уникальным образом обеспечивают нас зрением и другими чувствами в мире голода, дефицита и хищничества.

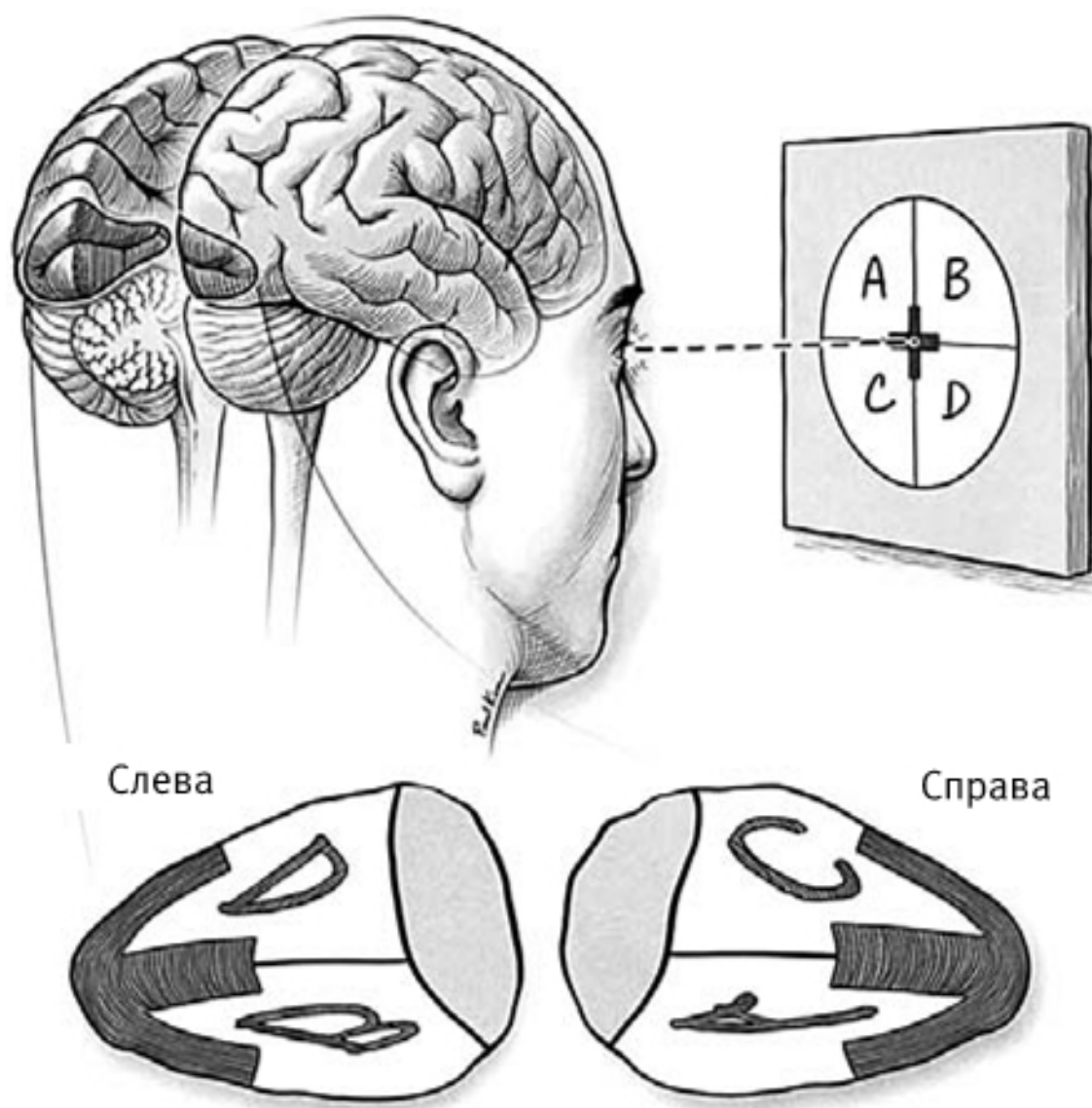


Рис. 5. Отображение зрительной информации в левой и правой частях зрительной карты V1 у человека. *Художник Пол Ким.*

2

Тирания чисел: зачем нужны карты мозга?

Инженеров из Лаборатории Белла не интересовал мозг. Их интересовало создание полезных устройств. Однако в конце 1950-х годов Лаборатория Белла и зарождавшаяся электронная промышленность столкнулись с той же проблемой, которая на миллионы лет затормозила эволюцию мозга и сделала карты мозга биологическим императивом.

Тогдашний вице-президент Лаборатории Белла дал проблеме название: тирания чисел⁵. Электрические устройства функционируют благодаря внутренним электрическим компонентам, которые обеспечивают их главные функции. Потребители хотели иметь более мощные и многофункциональные устройства, чтобы один и тот же аппарат мог выполнять несколько функций. И поэтому инженеры пытались создавать новые устройства, состоящие из огромного количества деталей. Непросто придумать, как упаковать миллион деталей внутри устройства разумного размера. Но добавление деталей влечет за собой и еще более сложную проблему: при присоединении каждого нового элемента инженер должен встроить массу новых проводов, соединяющих его с другими элементами устройства. Эту проблему и назвали тиранией чисел. Повышение мощности и функциональности устройства требовало дополнительных элементов, но чем больше элементов, тем больше проводов, а это повышало стоимость производства и увеличивало размер устройства.

Результат? Неуклюжие машины из чудовищного набора деталей.

Решение проблемы тирании чисел пришло из другой сферы. Его предложил Джек Килби из компании “Тексас инструментс”: он придумал интегральную схему, позволявшую инженерам включить множество элементов в единственную деталь из германия, что очень сильно сократило количество проводов. Роберт Нойс из компании “Фэйрчайлд семикондактор” в Маунтин-Вью в Калифорнии изобрел кремниевую версию интегральной схемы, которая заложила основы и дала название Силиконовой долине в том виде, в котором мы знаем ее сегодня. Интегральные схемы позволили включать в устройство больше элементов. Эти инновации положили начало современной эре электроники и позволили создавать мощные многофункциональные мобильные устройства, определяющие нашу современную жизнь.

Однако тирания чисел не исчезла полностью. Перенеситесь в сегодняшний день и подумайте о мобильном телефоне, который наверняка сопровождает вас повсюду. Многие мобильные телефоны являются многофункциональными: это одновременно телефон, фотокамера и плеер, на нем можно слушать музыку, смотреть фильмы и играть в видеоигры. Чипы современных мобильных телефонов содержат миллиарды транзисторов и многочисленные элементы, позволяющие им осуществлять столь разные функции. Но при этом мобильные телефоны должны быть легкими и достаточно компактными, чтобы помещаться в карман или сумочку. Эти конфликтующие факторы – больше функций в меньшем объеме – будут оставаться источником головной боли (и рабочих мест) для инженеров еще долгое время.

Многие аспекты процесса создания современных мобильных телефонов связаны с вопросами, в равной степени относящимися и к головному мозгу. Какими свойствами должен обладать конечный продукт, чтобы быть функциональным, обрабатывать большие объемы информации и быстро решать задачи? Для чего служит каждая деталь устройства и как эти

⁵ Gertner J. *The Idea Factory: Bell Labs and the Great Age of American Innovation*. New York: Penguin, 2012; Thackaray A., Brock D.C., Jones R. *Moore's Law: The Life of Gordon Moore, Silicon Valley's Quiet Revolutionary*. New York: Basic Books, 2015; Malone M.S. *The Intel Trinity: How Robert Noyce, Gordon Moore, and Andy Grove Built the World's Most Important Company*. New York: HarperCollins, 2014.

детали должны быть связаны друг с другом? Сколько будет стоить создание такого аппарата? Насколько компактным и легким должен быть конечный продукт?

В отличие от устройств, тщательно разработанных инженерами, структура мозга и его функции формировались на протяжении многих поколений за счет естественного отбора. Никто сознательно не подбирал критерии для построения мозга; на протяжении многих поколений генетические мутации, воспроизведение и смерть совместными усилиями оптимизировали структуру мозга живых существ методом проб и ошибок. И все же проще понять компромиссы в эволюции мозга, если рассматривать этот процесс как инженерную задачу. *Что нужно, чтобы сконструировать мозг?* Ответ зависит от того, что этот мозг должен уметь делать.

Когда люди рассуждают о способностях мозга (о способности обрабатывать информацию и поддерживать разумное поведение), они обычно делают это в терминах *плохо* и *хорошо*. В целом считается, что любого человека и любое существо можно расположить на определенной ступени интеллектуальной лестницы, так что *простенькие* оказываются у земли, а *превосходные* – в поднебесье. Однако более детальное и менее предвзятое исследование способностей животных показывает, насколько ошибочна такая позиция.

Рассмотрим в качестве примера пустынного муравья, который постоянно перемещается по суровой Сахаре в поисках чего-нибудь съедобного. По отношению к собственному размеру эти муравьи за день проделывают путь, который для нас составлял бы несколько километров, а затем находят дорогу домой по совершенно безликой пустыне точно в то место, где живет их колония. Другой пример – киты-убийцы, которые держатся группами (стадами) и общаются на диалекте, уникальном для каждого конкретного стада⁶. Когда стадо рассеивается и члены группы оказываются в нескольких километрах друг от друга, они должны “настроиться” на сигналы других китов, общающихся на этом диалекте, и игнорировать сообщения всех остальных. Это позволяет им отслеживать месторасположение собратьев и вновь объединяться. А птица, называемая щелкунчиком Кларка, каждую осень собирает сосновые семена и закапывает их в небольших норках⁷. Птица запоминает более трех тысяч таких тайников и проверяет их за зиму и весну, добывая пропитание для себя и своих птенцов.

Эти животные обладают мозгом с массой от 0,001 грамма (муравей) примерно до 3650 граммов (кит-убийца)⁸, но способны на такие когнитивные подвиги, которые трудны или вовсе невозможны для нас с нашим мозгом массой около 1500 граммов. На удивление, многих живых существ можно назвать разумными, но они разумны только в каких-то определенных аспектах, необходимых для преодоления специфических трудностей. Разнообразие способностей, обеспечиваемых мозгом, у обитателей нашей планеты чрезвычайно велико, и поэтому этих существ нельзя сравнивать по какому-то одному показателю.

Разнообразие способностей мозга у разных видов и родов возникло при участии естественного отбора. Генетические вариации вызывают изменения в структуре мозга, что, в свою очередь, создает основу для появления новых способностей или поведения. Мозг существ может различаться по целому ряду параметров. Конечно, он бывает большим или маленьким. Но он также может иметь разное количество нейронов и разную плотность их упаковки⁹ – количество нейронов в единице объема. Например, слоны и киты имеют гигантский мозг с крупными, свободно упакованными нейронами, тогда как у человекообразных обезьян мозг

⁶ Filatova O. et al. *Cultural Evolution of Killer Whale Calls: Background, Mechanisms, and Consequences*. Behaviour. 152 (2015): 2001–38.

⁷ Pearce J.M. *Animal Learning and Cognition: An Introduction*, 3rd ed. East Sussex, UK: Psychology Press, 2008.

⁸ *The brains of these animals* / Roth G., Dicke U. *Evolution of the Brain and Intelligence*. Trends in Cognitive Sciences. 9 (2005): 250–57.

⁹ Herculano-Houzel S. *The Remarkable, Yet Not Extraordinary, Human Brain as a Scaled-up Primate Brain and Its Associated Cost*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 109 (2012): 10661–68.

меньшего размера с плотно упакованными более мелкими нейронами. Размер мозга и плотность упаковки нейронов определяют общее количество нейронов в мозге. Корова и шимпанзе имеют мозг примерно одинакового размера, но в мозге шимпанзе нейроны упакованы плотнее, так что общее количество нейронов у шимпанзе, по-видимому, намного больше. Это важно по той причине, что количество нейронов в мозге животного является ключевым фактором для выживания. Слишком много или слишком мало для реализации нужд организма – это вопрос жизни и смерти.

Снабжение мозга дополнительными нейронами имеет очевидные преимущества. Поскольку нейроны – это ячейки обработки информации, увеличение их числа повышает производительность мозга. Значительная часть мозга большинства животных отводится на обработку информации, поставляемой органами чувств: в нашем случае это зрение, слух, тактильные стимулы и т. д. Недостаточно иметь пару функциональных глаз, чтобы видеть; необходимо иметь в мозге такие области, как V1, которые отражают и обрабатывают поток собранной глазами информации. Чем больше нейронов, тем лучше мозг обеспечивает восприятие, усиливая способность организма обнаруживать пищу или хищника. Кроме того, дополнительные нейроны способствуют выполнению более сложных или точных движений, что также позволяет эффективнее добывать пищу или скрываться от хищников. Нейроны поддерживают и другие способности, такие как ориентирование, память, самоконтроль, планирование или рассудительность, – и каждая из них благоприятствует выживанию организма.

Но дополнительные нейроны достаются дорогой ценой. Прежде всего, нейроны активно потребляют энергию. В частности, головной мозг является третьим по счету человеческим органом, потребляющим максимальное количество энергии на единицу массы – после непрерывно бьющегося сердца и неутомимых почек. Но поскольку наш мозг крупнее и тяжелее этих органов, он потребляет максимальное количество энергии во всем теле. Этот комок ткани составляет лишь 2 % массы тела взрослого человека, но расходует около 22 % получаемой нами энергии¹⁰. У других видов другое соотношение, но во всем царстве животных нейроны являются активными потребителями энергии. Количество потребляемой нейронами энергии велико по той причине, что для производства каждого импульса они в буквальном смысле втягивают в себя одни молекулы и выделяют другие. Это перекачивание происходит постоянно во всех нейронах мозга. Чем больше у существа нейронов, тем больше ему нужно миниатюрных насосов, работающих день и ночь и нуждающихся в большом количестве топлива.

Поскольку нейроны обходятся так дорого, мозгу с большим количеством нейронов требуется больше калорий. Для удовлетворения этой потребности существо *либо* больше ест, *либо* ест более качественную пищу с более высоким содержанием калорий. Получить доступ к высококалорийной пище в современном индустриальном мире не трудно. Во многих развитых странах полки продовольственных магазинов забиты недорогими готовыми продуктами. Но это современное достижение – буквально один миг на шкале человеческой эволюции. Большую часть времени, пока наши предки бродили по земле, они сталкивались с суровой реальностью, с которой сегодня сталкиваются дикие животные. Не так уж много вокруг съедобных и питательных продуктов. Каждую калорию приходится добывать тяжким трудом. И если ваше тело и мозг требуют больше энергии, чем вы можете отыскать, добыть на охоте или украсть, вам недолго придется жить. Привет и прощай.

Кроме того, нейронам нужно много места. Каждый нейрон должен сообщаться с другими нейронами, и делают они это с помощью отростков, называемых дендритами и аксонами. Эти выросты, напоминающие щупальца, служат проводками, передающими информацию в форме электрических импульсов от одной клетки к другой. Эти провода выполняют специализиро-

¹⁰ Kuzawa C. et al. *Metabolic Costs and Evolutionary Implications of Human Brain Development*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 111 (2014): 13010–15.

ванные функции. Дендриты нейронов принимают входные сигналы, а более длинные аксоны отправляют сигналы от нейронов дендритам других клеток. Можно сказать, что дендриты – уши нейрона, а аксон – его голос.

Увеличение количества нейронов в мозге повышает его способность думать, воспринимать и действовать, но лишь в том случае, если нейроны соединены друг с другом для передачи информации. Эту функцию поддерживает, главным образом, аксон, похожий на провод. Аксоны могут передавать сообщения либо между соседними нейронами, либо переносить импульсы через весь мозг. Чувствительные рецепторные клетки, такие как тактильные рецепторы нашей кожи, тоже представляют собой вид нейронов и имеют собственные аксоны, с помощью которых передают сигналы в мозг. Некоторые аксоны протянуты даже на длину всего тела; они передают тактильную информацию от пальцев ног до мозга, позволяя нам испытывать удовольствие от массажа стоп или боль от ушибленного пальца.

Аксоны играют важнейшую роль в осуществлении мозгом его многочисленных функций. Но они занимают уйму места. На самом деле, когда эволюция стала добавлять в мозг нейроны, новые связи, по сути, заняли больше места, чем сами новые нейроны¹¹. Длинные провода занимают больший объем, чем короткие, и для их поддержания требуется больше усилий. Несколько десятилетий назад инженеры из Лаборатории Белла столкнулись с этой же проблемой: добавление к устройству новых элементов требует добавления многочисленных громоздких и дорогих проводов. То, что инженеры называли тиранией чисел, мы можем назвать тиранией нейронов. И если вам это не кажется серьезной проблемой, думайте дальше.

Нейроны бывают самых разных видов и имеют разные свойства, но каждый конкретный нейрон для выполнения своей функции должен быть напрямую связан с сотнями других нейронов мозга. Без разумного решения этой инженерной задачи дорогостоящие провода займут в мозге место и отнимут энергию, так что существо будет с трудом удерживать непомерно большую голову и удовлетворять потребности в калориях, и, следовательно, будет голодать. В человеческом мозге около 86 миллиардов нейронов. Если бы каждый из них соединялся со всеми остальными случайным образом, такой орган имел бы протяженность более 20 километров¹²

¹¹ Zhang K., Sejnowski T. *A Universal Scaling Law Between Gray Matter and White Matter of Cerebral Cortex*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 97 (2000): 5621–26.

¹² Nelson M., Bower J. *Brain Maps and Parallel Computers*. Trends in Neurosciences. 13 (1990): 403–8.

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.