

ДЭВИД ИГЛМЕН

нейробиолог, профессор
Стэнфордского университета

ЖИВОЙ МОЗГ

УДИВИТЕЛЬНЫЕ ФАКТЫ
О НЕЙРОПЛАСТИЧНОСТИ
И ВОЗМОЖНОСТЯХ МОЗГА

МИФ Научпоп

Дэвид Иглмен

**Живой мозг. Удивительные
факты о нейропластичности
и возможностях мозга**

«Манн, Иванов и Фербер (МИФ)»

2020

УДК 159.922
ББК 88.211

Иглмен Д. М.

Живой мозг. Удивительные факты о нейропластичности и
возможностях мозга / Д. М. Иглмен — «Манн, Иванов и Фербер
(МИФ)», 2020 — (МИФ Научпоп)

ISBN 978-5-00-169987-3

Почему враг памяти – не время, а другие воспоминания? Почему мы каждую ночь видим сны и как это связано с вращением нашей планеты? Что общего между отменой лекарственного препарата и разбитым сердцем? Ответы на эти и многие другие вопросы – в новой книге известного нейробиолога Дэвида Иглмена. Вас ждут невероятные факты о величайшей технологии, скрывающейся в вашей голове. И это не просто рассказ о том, что такое мозг и как он работает. Вы узнаете, благодаря чему наш мозг способен меняться на протяжении всей жизни и как научиться контролировать его деятельность, чтобы сделать свою жизнь еще лучше. На русском языке публикуется впервые.

УДК 159.922

ББК 88.211

ISBN 978-5-00-169987-3

© Иглмен Д. М., 2020
© Манн, Иванов и Фербер
(МИФ), 2020

Содержание

Глава 1. Наэлектризованная живая ткань	6
Глава 2. Просто добавь реальности	18
Глава 3. Внутреннее как зеркало внешнего	26
Конец ознакомительного фрагмента.	36

Дэвид Иглмен
Живой мозг. Удивительные факты о
нейропластичности и возможностях мозга

Научный редактор Ксения Пахорукова

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

© David Eagleman, 2020. All rights reserved.

© Издание на русском языке, перевод, оформление. ООО «Манн, Иванов и Фербер»,
2022

* * *

*Каждый человек рождается подобным многим, но умирает
неповторимым.*

Мартин Хайдеггер¹

¹ Мартин Хайдеггер (1889–1976) – немецкий мыслитель, один из крупнейших философов XX века. *Прим. ред.*

Глава 1. Наэлектризованная живая ткань

Представьте такую картину: вместо того чтобы отправлять на Марс робот-вездеход весом 180 кг, мы просто запускаем на Красную планету одну-единственную малюсенькую сферическую частицу, которая может уместиться на острие иглы. На Марсе эта микросфера подключается к окружающим ее местным источникам энергии и делится на огромное количество аналогичных сфер разнообразного назначения. Сферы сцепляются одна с другой и на наших глазах приобретают форму конкретных конструктивных элементов марсохода: вот колеса, объективы, температурные датчики, полнокомплектная автономная система управления. Увидев, как эта хитроумная система сама себя разворачивает, вы получили бы незабываемые впечатления.

Между тем достаточно зайти в роддом по соседству, и перед вашим взором предстанет точно такая же распаковка в действии. Покрикивающие на разные лады младенцы, чье существование начиналось с микроскопической оплодотворенной яйцеклетки, прямо здесь и сейчас, на свободе, приступают к преобразованию себя в огромных – по сравнению с их нынешней крохотностью – взрослых со всеми полагающимися им встроенными фоторецепторами, суставчатыми руками-ногами, датчиками давления, насосами для прокачки крови и сложнейшими механизмами для усвоения энергии из окружающей среды.

И все же не это лучшее, что есть в человеке, – у нас имеется нечто куда более завораживающее. Наша внутренняя механика не запрограммирована целиком и полностью от рождения, а активно формирует сама себя в ходе взаимодействия с окружающим миром. С самого детства и далее по жизни мы постоянно переписываем свою нейронную сеть, чтобы преодолевать трудности и принимать вызовы, оборачивать себе на пользу открывающиеся возможности и постигать устройство и способы функционирования разнообразных структур общества.

Наш вид обжил и освоил все уголки планеты, потому что в человеке воплотился во всей своей гениальности изобретенный Матушкой-природой трюк: вместо описанного во всех подробностях мозга она наделяет нас базовым комплектом мозговых структур и отправляет самостоятельно барахтаться в мире. В какой-то момент истошно вопящий младенец замолкает, с любопытством осматривается и начинает постигать мир вокруг себя. Мозг подстраивается под ту жизненную среду, в которой оказался. Он впитывает все ее реалии – от языка до культурных норм и представлений о глобальной политике, несет по жизни убеждения и предубеждения тех, кто воспитал его. Всякое приятное воспоминание, которое откладывается в мозге, любой усвоенный им урок, каждая воспринятая крупица информации формируют его нейронные схемы, выстраиваясь в нечто уникальное, что никогда не планируется заранее, а отражает окружающую реальность.

Эта книга расскажет, как наш мозг непрерывно и неустанно перестраивает свои нейронные связи и каково значение этой деятельности для нашей жизни и нашего будущего. По ходу дела мы уделим внимание множеству интересных вопросов. Почему в 1980-е годы (и только в 1980-е!) люди замечали, что книжные страницы имеют легкий красноватый отлив? Почему лучшим в мире лучником стал человек без рук? Почему мы каждую ночь видим сны и как это связано с вращением нашей планеты? Что общего между симптомами отмены наркотического вещества и переживанием горя? Почему главный враг памяти не время, а другие воспоминания? Как незрячий может научиться видеть при помощи языка, а глухой – слышать кожей? Сможем ли мы когда-нибудь считывать хотя бы в общих чертах главные вехи чьей-либо жизни по микроскопическим структурам в чашках его мозговых клеток?

Мальчи с половинкой мозга

Валери С. собиралась на работу, когда ее трехлетний сын Мэтью рухнул на пол без сознания². Привести его в чувство никак не получалось. Губы мальчика посинели.

Валери в панике позвонила мужу. «Что ты мне звонишь? – прорычал он. – Скорую вызывай!»

Визит в отделение неотложной помощи обернулся чередой направлений к специалистам. Педиатр рекомендовал показать Мэтью кардиологу. Тот подсоединил Мэтью кардиомонитор, но мальчик ухитрился раз за разом отключать его. Хождения по другим врачам тоже не выявили конкретного нарушения. Ничего страшного, единичный случай – так, во всяком случае, все думали.

Спустя месяц, во время еды, лицо Мэтью вдруг приняло странно застывшее выражение. Взгляд сделался напряженным, правая рука одеревенела и сама собой вытянулась вверх над головой; примерно с минуту мальчик пребывал в ступоре. Валери снова бросилась к врачам, но они и на этот раз не нашли ничего определенного.

На следующий день странный приступ повторился.

Невролог надел Мэтью шлем с закрепленными на нем электродами, чтобы измерить электрическую активность мозга, и у мальчика обнаружили явные признаки эпилепсии. Мэтью были назначены противосудорожные препараты.

Лекарства помогли, но ненадолго. Вскоре у ребенка начались серии некупируемых приступов: сначала раз в час, потом в три четверти часа, затем в полчаса – так у роженицы сокращаются промежутки между схватками. Через какое-то время приступы происходили уже каждые две минуты.

С началом очередной серии Валери и ее муж Джим отвозили сына в больницу, где он оставался на несколько дней, а то и недель. После нескольких таких серий наученные опытом родители дожидались, пока частота «схваток» достигнет двадцати минут, звонили в больницу предупредить, что едут, сажали сына в машину и по дороге заезжали в «Макдоналдс» купить ему что-нибудь поесть.

Сам Мэтью между приступами изо всех сил старался радоваться жизни.

Каждый год мальчик по десятку раз попадал в больницу. Так продолжалось три года. Валери с Джимом горько оплакивали потерю здорового сына: нет, ему не грозило умереть, но ребенок больше не мог жить нормальной жизнью. Мать с отцом прошли горестный путь от гнева на злую судьбу до отрицания. Их понятия о нормальной жизни неумолимо менялись. И вот пришел момент, когда во время трехнедельного пребывания Мэтью в больнице неврологи признали, что его болезнь слишком серьезна, чтобы справиться с ней силами местной больницы.

Родители наняли самолет санитарной авиации и перевезли сына из Альбукерке в балтиморский госпиталь Джонса Хопкинса на Восточном побережье. Там, в педиатрическом отделении интенсивной терапии, они узнали, что у Мэтью редкое хроническое воспалительное заболевание – энцефалит Расмуссена. Коварство этой болезни в том, что она поражает не какой-то один малый участок мозга, а целое полушарие. Валери и Джим изучали возможные варианты лечения и очень встревожились, узнав, что единственный известный способ облегчить состояние Мэтью – гемисферэктомия, то есть хирургическое удаление пораженного полушария мозга. «Я не могу вспомнить ни слова из того, что позже говорили врачи, – рассказывала Валери. – Просто отключалась, как будто со мной говорили на незнакомом языке».

² Из беседы автора с членами семьи Мэтью.

Валери с Джимом пробовали другие методы лечения, но они не дали результата. Через несколько месяцев Валери позвонила в госпиталь Джонса Хопкинса, чтобы назначить день операции, и врач спросил: «Вы уверены?»

«Да», – ответила Валери.

«И сможете каждый день смотреть себе в глаза в зеркале, зная, что сами приняли такое решение?»

От бесконечной съедающей их тревоги Валери и Джим лишились сна. Переживет ли Мэтью операцию? Насколько вообще возможно жить при отсутствии половины мозга? И даже если возможно, не обречен ли Мэтью после удаления одного полушария получить инвалидность настолько тяжелую, что жизнь с ней немногим лучше смерти?

Но другого выхода не было. Нормальная жизнь под дамокловым мечом ежедневных множественных эпилептических припадков попросту нереальна. Родители ловили себя на том, что взвешивают, стоит ли неясный исход хирургического вмешательства того ущерба, который болезнь гарантированно нанесет их сыну.

В назначенный день они снова привезли Мэтью в Балтимор. И вот уже под маской детского размера мальчик погружается в анестетический сон. Лезвие скальпеля осторожно делает разрезы на обритой коже головы. Костная дрель высверливает в черепе круглое трепанационное отверстие.

На протяжении нескольких часов хирург кропотливо удалял нежную розоватую мозговую ткань, составлявшую основу интеллекта Мэтью, его эмоций, способности говорить, чувства юмора, страхов и привязанностей. Извлеченная ткань, бесполезная в отрыве от своей биологической среды, отправлялась в маленькие контейнеры. Опустевшая половина черепа Мэтью медленно заполнялась спинномозговой жидкостью, что в ходе нейровизуализации отображалось черным пятном (рис. 1.1)³.

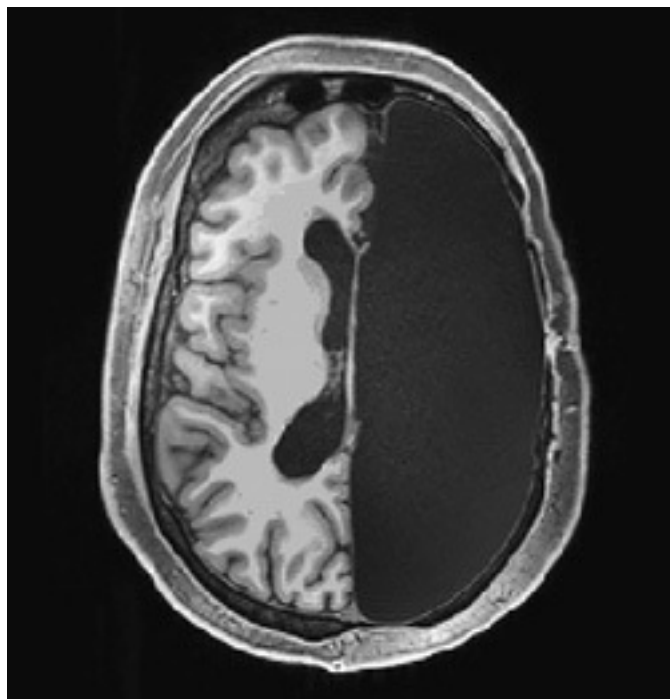


Рис. 1.1. У Мэтью хирургически удалена половина головного мозга

³ Как ни странно, но так оно и есть: операцию Мэтью провел хирург Бен Карсон, тот самый, кто в 2016 году решил баллотироваться на пост президента США от Республиканской партии, но позже вышел из гонки, проиграв Дональду Трампу.

Источник: Kliemann D., et al. (2019). Intrinsic functional connectivity of the brain in adults with a single cerebral hemisphere. Cell Reports. 2019 Nov 19; 29 (8): 2398–2407. © 2019, with permission from Elsevier

Позже, уже в послеоперационной палате, родители Мэтью пили больничный кофе стакан за стаканом, ожидая, когда сын проснется после наркоза. Каким он теперь будет, их мальчик? Кем вырастет, имея всего половину мозга?

* * *

Среди всех материальных объектов, обнаруженных представителями нашего вида на планете, ни один и близко не сравнится по сложности с нашим мозгом. Человеческий мозг состоит из 86 млрд клеток, называемых *нейронами*, которые быстро передают туда-сюда информацию в виде перемещающихся электрических импульсов⁴. Нейроны соединены друг с другом в густые замысловатые сети вроде лесных зарослей, причем общее количество нейронных соединений исчисляется сотнями триллионов (около 0,2 квадриллиона). Все это напоминает электрическую проводку в вашем доме. Чтобы лучше представить себе масштабы собственного мозга, исходите из того, что в одном кубическом миллиметре его кортикальной ткани связей больше, чем ныне живущих на нашей планете людей.

Однако самую интересную особенность мозга составляет не колоссальное количество нейронов, а способ их взаимодействия.

Учебники, реклама в СМИ и масскультура обычно изображают мозг как орган, каждый участок которого отвечает за свой круг задач. Скажем, вот эта область позволяет нам видеть, а вон та полоска нужна, чтобы мы понимали, как пользоваться орудиями и инструментами, вот этот участок активизируется, когда мы преодолеваем желание съесть конфетку, а вон то пятнышко оживает, когда мы обдумываем щекотливый нравственный вопрос. Словом, все области, участки и зоны мозга можно четко обозначить и подразделить на категории.

Однако такая хрестоматийная модель не дает полного представления о мозге человека, ибо упускает самую любопытную его особенность. Мозг представляет собой динамическую систему и непрерывно меняет конфигурацию соединений в соответствии с требованиями внешней среды и возможностями тела. Будь у вас волшебная видеокамера, чтобы взять крупным планом кипящий жизнью микрокосм под сводами вашего черепа, вы увидели бы, как нейроны вытягивают свои отростки-щупальца, которые жадно ищут, за что бы ухватиться, ощущают, соударяются, наталкиваются друг на друга, выискивают подходящие, чтобы сформировать новые связи или, наоборот, избежать их, – так жители какой-нибудь страны завязывают дружбу, заключают браки, поддерживают соседские отношения, создают политические партии, совершают вендетты и объединяются в социальные сообщества. Попробуйте представить свой мозг как место, где обитают, переплетаются и живут своей жизнью триллионы отдельных организмов. Мозг намного удивительнее, чем рисуют нам учебники, поскольку представляет собой загадочную вычислительную субстанцию, живую трехмерную ткань, которая меняется, реагирует и приспосабливается к изменениям, чтобы максимизировать свою продуктивность. Замысловатый рисунок соединений в мозге – *нейронные сети* – полнится жизнью: связи между

⁴ Картина еще сложнее: кроме нейронов, в мозге есть и другие клетки, называемые *нейроглияй*. Помимо прочего, нейроглия очень важна для долговременного функционирования нейронов, поскольку именно они обеспечивают быструю передачу информации. Всегда считалось, что мозг содержит вдесятеро больше глиальных клеток, чем нейронов; но благодаря новейшим методам исследования (например, изотропному фракционированию) мы знаем, что глиальных клеток в мозге ровно столько же, сколько нейронов. См. Von Bartheld CS, Bahney J, Herculano-Houzel S (2016). The search for true numbers of neurons and glial cells in the human brain: A Review of 150 Years of Cell Counting, J Comp Neurol 524 (18): 3865–3895. Общие представления о количествах см. также Gordons. The synaptic organization of the brain (New York: Oxford University Press, 2004).

нейронами беспрестанно меняются, расцветают, отмирают, изменяют форму. Сегодня вы уже не та личность, какой были год назад, потому что гигантский гобелен вашей мозговой ткани соткался в другой узор.

Когда вы что-то узнаете, например адрес хорошего ресторана либо новую сплетню о вашем боссе, или слышите по радио новую привязчивую песенку, ваш мозг физически меняется. То же происходит с ним при финансовом успехе, социальном фиаско или эмоциональном возбуждении. Когда вы бросаете в корзину баскетбольный мяч, не соглашаетесь с коллегой, прилетаете в новый город, вглядываетесь в ностальгическую фотографию или слышите ласковые нотки в голосе любимого человека, обширные густо переплетенные джунгли вашего мозга перестраиваются, становясь слегка другими, чем мгновение назад. Эти перемены составляют нашу память – последствия того, как мы жили и любили. Бесчисленные изменения в мозге, накапливающиеся с течением минут, месяцев, а то и десятилетий, в общей сложности и складываются в личность, которая называется *вами*.

Или по крайней мере в ту личность, коей вы являетесь в данную минуту. Вчера вы были немного не такими, как сегодня. А завтра станете другими, кем раньше не были.

Другой секрет жизни

В один из дней 1953 года Фрэнсис Крик⁵ ворвался в паб «Игл-энд-Чайлд» и с места в карьер ошарашил почтенную выпивающую публику, возгласив, что они с Джеймсом Уотсоном⁶ разгадали секрет жизни: открыли структуру двойной спирали ДНК. То было одно из величайших открытий в науке, известия о которых когда-либо сотрясали стены пабов.

Позже выяснилось, что Крик и Уотсон разгадали лишь половину секрета. Зато другую половину невозможно найти в зафиксированной последовательности пар оснований ДНК, не описана она и ни в одном учебнике – ни сейчас, ни когда-либо вообще. Потому что вторая половина секрета жизни – это все, что нас окружает, и каждая частичка нашего опыта бытия в мире: текстуры и вкусы, нежности и автомобильные аварии, языки общения и романы⁷.

Чтобы лучше понять, о чем я толкую, представьте, что вы родились 30 тысяч лет назад, причем с точно такой же ДНК, – разве что, покинув материнское лоно, увидели мир, каким он был в те далекие исторические времена. Какими бы вы выросли? Находили бы вкус в том, чтобы, облачившись в шкуры, танцевать вокруг костра, дивясь на россыпи звезд в ночном небе? Или, сидя на верхушке дерева, предупреждали бы соплеменников громким вырази-

⁵ Фрэнсис Крик (1916–2004) – британский молекулярный биолог, биофизик и нейробиолог. Лауреат Нобелевской премии. *Прим. ред.*

⁶ Джеймс Уотсон (р. 1928) – американский биолог. Лауреат Нобелевской премии. *Прим. ред.*

⁷ Вот только маленькое подмножество совокупности впечатлений, получаемых двухлетним ребенком в течение дня, которые непостижимым образом намечают траекторию его будущего жизненного пути. Малыш слушает рассказ про мальчика с длинным хвостом, которым тот прихлопывает мух (реальная история). В гости заходит подруга матери, Жозетт, и приносит серебристую кастрюлю, где на пару доходят приготовленные ею тефтели. За окном по улице с улюлюканьем проносятся на велосипедах трое мальчишек постарше. Ребенок видит, что белая кошка устроилась поспать на теплом капоте пикапа. Мама говорит папе: «Совсем как тогда, в Нью-Мексико», – и оба смеются. Папа стоит над раковиной в кухне, поедая брюссельскую капусту из пластикового контейнера, и что-то говорит с полным ртом. Мальчик прижимается щекой к прохладным половицам дубового пола. Он видит, как на улице здоровенный дядька в костюме бобра раздает арахисовые орешки. И прочее, и прочее. Каждое из впечатлений добавляет по очередной крупнице к его личности, и будь эти впечатления чуть-чуть другими, мальчик вырос бы чуть-чуть другим человеком. Подобные соображения могли бы с полным основанием встревожить родителей, если те считают своим долгом дать ребенку правильное направление в жизни. Впрочем, если учитывать бескрайние просторы океана всевозможных впечатлений, сколько-нибудь сознательная навигация по его акватории не представляется возможной. Вы не можете знать, какой эффект возымеет выбор той или иной книги, принятое решение или внешнее воздействие. Жизненная траектория человека – даже на протяжении одного-единственного дня – слишком сложна и прихотлива, чтобы предсказать, как и что может повлиять на нее. И хотя сказанное несколько не умаляет значения родительских обязанностей и забот, совершенная невозможность предугадать, каким будет жизненный путь их ребенка, пускай и на малую малость, но все же облегчает им бремя ответственности.

тельным ревом о приближении страшного саблезубого тигра? Тревожила бы вас ночевка под открытым небом, когда его обкладывали густые дождевые тучи?

Что бы вы себе ни представили, все равно ошибетесь. Потому что мой вопрос – с подвохом.

Вы попросту были бы не вами. Даже отдаленно. Пещерный человек с точно такой же ДНК, как ваша, мог бы внешне слегка смахивать на вас в силу того, что развился по той же, что у вас, прописи генома. Но, как этот дикарь ни старайся, он не сумел бы думать, как вы. И уж подавно не мог бы выстраивать стратегии в точности, как это делаете вы, любить, как вы, воспроизводить ваше прошлое или моделировать будущее.

Почему? Потому что у пещерного человека опыт жизни совсем не такой, как ваш. Безусловно, ДНК – часть истории вашей жизни, но очень-очень маленькая. Зато остальная ваша жизнь богато насыщена подробностями вашего опыта и вашей среды, и все это образует безбрежную микроскопическую ткань, сплетенную из соединенных между собой мозговых клеток. Личность, которую мы считаем вами, – это вместилище пережитого вами опыта, куда добавлен малый срез пространства и времени. Через свои чувства вы впитали местную культуру и местные технологии. Вы стали тем, кто вы есть, благодаря окружающей вас реальности – в такой же степени, что и заложенной в вас ДНК.

Для контраста обратимся к примеру двух комодских варанов⁸ – рожденного в наши дни и появившегося на свет 30 тысяч лет назад. Судя по всему, этих двух существ трудно было бы отличить друг от друга, если исходить только из особенностей их поведения.

Тогда в чем разница?

Комодские вараны появляются на свет с мозгом, который каждый раз разворачивается примерно в одну и ту же структуру. Жизненные навыки в их «послужном списке» (Ешь! Спаривайся! Плыви!) по большей части жестко установлены в мозге, что позволяет им удерживать конкретную нишу в экосистеме. Правда, способностью к адаптации они не отличаются. Если комодских варанов перебросить из родных мест обитания в юго-восточной Индонезии в заснеженную Канаду, им тут же придет конец.

В отличие от варанов, человек непривередлив и способен выжить в любом уголке земного шара, а в скором времени мы выйдем и за его пределы. В чем тут фокус? Вовсе не в том, что мы выносливее, жизнеспособнее или неприхотливее других живых созданий, – тут мы проигрываем почти любому животному. Дело в другом: мы приходим в мир, имея во многом неразвитый мозг. Отсюда и уникально длительный для живой природы период полной беспомощности в детстве. Что, однако, с лихвой окупается, поскольку наш мозг приглашает окружающую реальность поучаствовать в его формировании, – вот почему мы как губка впитываем язык, на котором говорят вокруг, культуру родных мест, моду и манеру одеваться, политические и религиозные представления, наконец, этику и мораль.

Приход в этот мир с незрелым мозгом в случае нашего вида зарекомендовал себя очень выигрышной стратегией. Мы лихо обходим в конкуренции любой другой вид животных: распространились по всей земной суше, покорили моря и океаны, вырвались из земных объятий на Луну. Мы втрое увеличили продолжительность своей жизни. Мы сочиняем симфонии, возводим небоскребы и чем дальше, тем с большей точностью измеряем параметры и показатели нашего мозга. И заметьте: ни одно из подобных начинаний никогда не было генетически закодировано.

Во всяком случае не кодировалось напрямую. Напротив, в генах воплощен простой принцип: *не создавай жестких конструкций, создай систему, способную подстраиваться под окружающий мир*. Наша ДНК не есть жесткая схема построения организма; скорее она закладывает

⁸ Комодский варан (лат. *Varanus komodoensis*) – вид ящериц из семейства варанов (*Varanidae*), самая большая из ныне существующих ящериц. *Прим. ред.*

основу динамической системы, которая непрерывно переписывает схемы своих соединений, чтобы лучше отражать окружающую реальность и именно в ней оптимизировать собственный КПД.

* * *

Задумайтесь, как школьник видит политическую карту мира, принимая границы государств и их территории как нечто неизменное и основополагающее. И совсем другое дело, как видит ту же политическую карту профессиональный историк – кто-кто, а он хорошо понимает, что нынешние государственные границы есть результат стечения исторических обстоятельств и что наша история могла бы сложиться слегка по-другому, вмешайся в нее случай: будущий король мог умереть в детстве, или нас обошла бы эпидемия бубонной чумы, или был бы потоплен военный корабль, что решило бы исход морского сражения в пользу другой стороны. Отдельные незначительные перемены вызвали бы каскад последствий, и в итоге политическая карта мира могла бы приобрести совсем иной вид.

Точно так же воля обстоятельств влияет на структуру мозга. Хотя рисунок в традиционном учебнике наводит на мысль, что нейроны вольготно уложены, словно мармеладное драже в банке, и благополучно соседствуют друг с дружкой, не дайте этой картинке запудрить вам мозги: на самом деле нейроны обречены на жесткую конкуренцию за выживание. Подобно народам соседних стран, они отгораживают себе территорию и беспрестанно охраняют ее от посягательств соседей. Конкуренция за территорию и выживание идет на всех уровнях системы: борьбу за ресурсы ведет каждый нейрон и каждое соединение между ними. А поскольку приграничные войны бушуют в мозге на протяжении всей жизни его обладателя, карты тела перерисовываются таким образом, что опыт и цели индивида неизменно отражаются в структуре мозга. Если молоденькая бухгалтерша бросит свои счетоводные книги, чтобы начать карьеру пианистки, ответственный за ее пальцы участок нервной системы расширит свою территорию; если она захочет переквалифицироваться в микроскописта, зрительная зона коры мозга повысит степень разрешения, чтобы девушка лучше различала мельчайшие детали под микроскопом; если же ее прельстит профессия парфюмера, в мозге увеличатся зоны, ответственные за обоняние. Мозг только для незаинтересованных выглядит застывшим мирком с четкими, раз и навсегда обозначенными границами.

Мозг поддерживает свои активы по степени важности посредством жесткого соревнования всех участвующих частей. Этот базовый принцип поможет пролить свет на ряд вопросов, с которыми мы вскоре столкнемся. Почему иногда вам кажется, что у вас в кармане прожужжал мобильник, хотя он, оказывается, мирно лежит на столе? Почему актер австрийского происхождения Арнольд Шварценеггер изъясняется на американском английском с сильным акцентом, а уроженка Украины Мила Кунис⁹ – без намека на акцент? Почему ребенок с аутизмом способен собрать кубик Рубика за 49 секунд, но не в состоянии поддержать обычный разговор со сверстником? Сможет ли человек, опираясь на новые технологии, развить новый тип чувств и тем самым способность напрямую воспринимать инфракрасное излучение, глобальные синоптические модели или состояние фондового рынка?

Не хватает инструмента – создай

В конце 1945 года Япония оказалась в тяжелом положении. В предшествующие 40 лет, пока гремели войны, сначала Русско-японская, потом Первая и Вторая мировая, Токио направ-

⁹ Мила Кунис (р. 1983) – американская актриса. *Прим. ред.*

лял свои интеллектуальные ресурсы исключительно на военные цели. Благодаря этому страна приобрела плеяду блестящих специалистов, чьи таланты и знания были заточены только под войну. Но атомная бомба и усталость от войн поумерили захватнические аппетиты Токио, прежде устремленные на Азию и Тихоокеанский бассейн. Война кончилась. Мир безвозвратно изменился, а значит, народу Японии поневоле тоже предстояло поменяться.

Необходимость в переменах поставила перед Токио головоломный вопрос: куда девать целую армию военных инженеров, которую с начала века непрестанно выковывали для создания все более совершенных видов оружия? Специалистам военного профиля попросту не находилось места в стране, желавшей теперь мира и спокойствия.

Так, во всяком случае, поначалу представлялось. И что же? В следующие несколько лет Токио решительно видоизменил социально-экономический ландшафт страны, найдя своим инженерам новое применение. Тысячи работников прошли профессиональную переподготовку, нацеленную на проектирование и строительство сети высокоскоростных железных дорог и пассажирских экспрессов «Синкансэн»¹⁰. Инженеров-аэродинамиков, прежде занятых в проектировании самолетов военно-морской авиации, перебросили на проектирование вагонов обтекаемой формы для сверхскоростного поезда. Те, кто раньше работал над палубным истребителем Mitsubishi Zero, теперь разрабатывали конструкцию колес, осей и рельсов для обеспечения безопасного движения поездов на сверхскоростях.

Токио перепрофилировал свои ресурсы в соответствии с новой реальностью. Перестроил машиностроение, руководствуясь требованиями дня. Воистину перековал мечи на орала.

То есть проделал ровно то же самое, что проделывает мозг.

Мозг непрерывно подстраивается под вызовы и цели текущего момента. Он формирует свои ресурсы, добиваясь их соответствия требованиям обстоятельств, в которых в данный момент находится. Если окажется, что мозг не располагает нужным инструментарием, будьте спокойны: он его сотворит.

Чем эта стратегия так хороша для мозга? Разве кто-то усомнится, что созданные человеком технологии чрезвычайно успешны? А между тем при их разработке мы руководствуемся совсем другой стратегией: проектируем машины с жестко заданной конструкцией – «железом», выражаясь языком айтишников, – и программное обеспечение, диктующее им выполнять в точности те операции, которых мы от них требуем. Какие преимущества можно получить, если размыть различия между жесткой и гибкой составляющими, что позволило бы машинам, выполняя свои программы, постоянно реконструироваться?

Скорость – вот что станет первым преимуществом¹¹. Вы быстро печатаете на клавиатуре потому, что нет нужды задумываться над подробностями постановки пальцев на клавишах, как и над их целями и задачами. Печатание происходит само собой, как будто по волшебству, потому что данный навык закреплён в вашей нейронной сети. Подобные задачи доводятся до автоматизма благодаря реконфигурации нейронных соединений, что позволяет вам быстро принимать решения и действовать. Миллионы лет эволюции никак не предвещали возникновения письменного языка, не говоря уже о таком приспособлении, как клавиатура, и тем не менее нашему мозгу не составило труда воспользоваться благами этого новшества.

Для сравнения представьте, что пробуете найти нужные клавиши на незнакомом вам музыкальном инструменте. Вам придется задействовать осознанное мышление, как при решении любой задачи в отсутствие нужного навыка, а это процесс сравнительно медленный. Подобное различие в скоростях новичка и профессионала объясняет, почему у футболиста-любителя то и дело отбирают мяч. Опытный натренированный футболист, в отличие от

¹⁰ Nishiyama T (2005), *Swords into plowshares: civilian application of wartime military technology in modern Japan, 1945–1964* (PhD diss., Ohio State University).

¹¹ Главный аргумент на данную тему приведен в книге Eagleman DM (2011). *Incognito: the secret lives of the brain* (New York: Pantheon). Издание на русском языке: Иглмен Д. [Инкогнито: тайная жизнь мозга](#). М.: Манн, Иванов и Фербер, 2019.

любителя, считывает сигналы тела противников, мастерски ведет мяч и без промаха бьет по воротам. Бессознательные действия всегда быстрее тех, что производятся по велению разума. Крестьянин орудует плугом быстрее, чем мечом. А самурай – мечом быстрее, чем плугом. Плугом пахать землю быстрее, чем мечом.

Вторым преимуществом использования машин для решения важных задач станет энергоэффективность. Футболисту-новичку не понять, как перемещения отдельных игроков по полю складываются в единую картину игры, зато профессионал умеет разными способами направлять ее ход к голевой ситуации. Спрашивается, чей мозг работает активнее? Как вы догадываетесь, мозг многоопытного бомбардира¹², потому что ему понятна общая схема игры и его мозг мгновенно просчитывает возможности, решения и сложные маневры. Но ваша догадка неверна. В мозге профессионала уже определенным образом выстроена футбольная схема нейронной сети, что и позволяет ему результативно играть при удивительно малой мозговой активности. В каком-то смысле он растворил границу между игрой и собой, стал одним целым с игрой. А у любителя мозг во время игры возбужден. Он силится оценить, какой маневр важнее, и перебирает множество вариантов оценки ситуации в попытках определить, которая из них верна, если только не все они ложны.

Профессионал, поскольку футбольные премудрости надежно впечатаны в схему его нейронных связей, на поле действует и быстро, и эффективно. Он оптимизировал нейросеть под все, что важно в его мире.

Система с нон-стоп-переменами

Понятие системы, способной меняться под действием внешних обстоятельств и сохранять свою новую конфигурацию, побудило американского психолога Уильяма Джеймса ввести в оборот термин «пластичность». Пластичный объект – это тот, которому можно придать новую конфигурацию, причем он способен *сохранять* ее. Отсюда, собственно, и пошло название материала, именуемого сегодня пластиком: из него мы штампует ложки-плошки, игрушки, телефонные аппараты, причем благодатный материал отлично сохраняет приданную ему форму, ни при каких обстоятельствах не возвращаясь к своей исходной аморфности. В точности так же обстоят дела и с мозгом: приобретаемый опыт меняет его конфигурацию и перемены надежно сохраняются.

В нейропсихологии мы употребляем термин «пластичность мозга» (или нейропластичность), однако в этой книге я стараюсь нечасто использовать его, поскольку иначе порой рискуешь упустить главное. Случайно или нет, но слово «пластичность» предполагает, что объекту придана определенная форма, с тем чтобы он сохранил ее навечно: если это пластмассовая игрушка, таковой она и останется. С мозгом все иначе – он перестраивается на протяжении всей жизни.

Задумайтесь, как развивается город, и обратите внимание, каким образом он растет, как оптимизирует свои пространства и подстраивается под окружающую реальность. Посмотрите, где организуются стоянки для грузового транспорта и появляются придорожные кафе, как городские власти вырабатывают иммиграционную политику, подстраивают образование и городское законодательство под возникающие по ходу жизни городские нужды. Город не стоит на месте, он всегда в движении. Не бывает так, чтобы проектировщики заранее спланировали его до последнего закоулка, а потом зафиксировали-законсервировали в неподвижности, как пластмассовую игрушку. Город бесконечно меняется.

Вот и мозг, подобно городу, не застывает окончательно. Всю жизнь мы стремимся к чему-то, даже если цели меняются. Представьте, как вас могла бы озадачить ваша же сделанная

¹² Бомбардир – лучший нападающий в футбольной команде, забивающий наибольшее число голов. *Прим. ред.*

много лет назад запись в дневнике. Она отражает строй мыслей, мнения и взгляд на мир кого-то, кто слегка отличается от личности, какой вы знаете себя сегодня, а иногда, по сравнению со своей предыдущей личностью, вы изменяетесь до неузнаваемости. Пускай у вас то же имя и вы прожили те же детские годы, но за время, разделяющее написание тех, давних, строчек и их прочтение сегодня, сам их автор изменился.

Конечно, значение термина «пластичный» можно расширить и подтянуть к понятию непрерывного изменения, так что я буду кое-где употреблять его, чтобы сохранить привязку к научной литературе, на которую буду ссылаться¹³. Но, думается, уже прошли времена, когда чудеса отливки пластика завораживали нас. Нынешняя наша цель – понять, как работает живая система мозга, и для этого я ввожу термин, на мой взгляд, лучше всего отражающий суть: «живая связь». Как мы вскоре убедимся, невозможно рассматривать мозг как объект, делимый на материальное «железо» (хардвер) и неосознаваемые «программы» (софтвер). Вместо хардвера-софтвера обратимся к понятию «живой компонент системы» (по терминологии айтишников – лайфвер, имеется в виду тот, кто оперирует хардвером и софтвером), поскольку оно поможет нам постичь суть этой системы – динамичной, адаптивной и жадной до информации.

* * *

Вернувшись к случаю Мэтью, вы оцените мощные способности мозга к реконфигурации самого себя. После удаления одного полушария Мэтью утратил способность ходить, говорить и к тому же страдал недержанием мочи. Словом, случилось именно то, чего больше всего боялись его несчастные родители.

А потом, благодаря ежедневным сеансам физиотерапии и занятиям с логопедом, мальчик начал заново учиться говорить. Восстановление навыка речи происходило медленно и в такой же последовательности, как в раннем детстве: сначала ребенок научился произносить одно слово, затем два, потом говорить короткими фразами.

Тремя месяцами позже Мэтью практически восстановился – в том смысле, что его уровень развития стал полностью соответствовать возрасту.

¹³ Вопрос о границах понятия пластичности все еще обсуждается. Сколько времени должны продлиться перемены, чтобы меняющийся объект подпадал под определение «пластичный»? Возможно ли отделить пластичность от таких понятий, как созревание, предрасположенность, гибкость и эластичность? Сами по себе семантические споры лежат несколько в стороне от темы данной книги, тем не менее для интересующихся я привожу здесь некоторые подробности. Одно из направлений дебатов касается вопроса, когда уместно применять термин *пластичность*. Считать ли результат пластичности в ходе развития, фенотипической и синаптической пластичности проявлениями одного и того же феномена или следует отнести это понятие к ряду терминов, неряшливо употребляемых в различных контекстах? Насколько мне известно, первым к этому вопросу напрямую обращался Жак Пайяр в очерке 1976 года *Réflexions sur l'usage du concept de plasticité en neurobiologie* («Размышления об употреблении понятия “пластичность” в нейробиологии»), который в 2008 году с комментариями перевел на английский язык Бруно Уилл с коллегами. Вторя Пайяру, они предположили в статье от 2008 года, что корректный пример пластичности должен содержать *как* структурные, *так и* функциональные изменения (а не либо те, либо другие) и также должен быть отличным от гибкости (скажем, от предопределенной адаптации), достижения зрелости (скажем, от нормального созревания организма) и эластичности (кратковременных перемен, которые в конечном счете возвращают объект к исходному состоянию). Как мы увидим в следующих главах, различить эти явления не всегда возможно. В качестве одного из подобных примеров, в главе 10, мы будем изучать, как меняется мозг во многих различных временных масштабах и каким образом перемены могут по цепочке передаваться разным частям системы (например, с молекулярного уровня на более высокий уровень молекулярной архитектуры). В свете сказанного возникает вопрос: если мы с помощью современных технологий выявили перемену, после которой система в итоге вернулась к исходному состоянию, но сделали такой вывод только потому, что наши возможности не позволяют одновременно измерить все эффекты, следует ли заключить, что исследуемая система всего лишь эластична, но не подходит под определение «пластичная»? Лично мне представляется неразумным привязывать наши семантические дефиниции к нынешним технологиям. Споры вокруг понятия *пластичность* нередко сводятся к бурям в стакане воды. В контексте данной книги нам важнее всего разобраться, как примерно 1,3 кг футуристической технологии в нашем черепе умудряются самомодифицироваться. Если к концу книги вы хорошо это поймете, я буду считать, что справился со своей задачей.

Сейчас, через много лет, Мэтью недостаточно хорошо пользуется правой рукой и слегка прихрамывает¹⁴. А в остальном ведет нормальную жизнь, и по нему почти не скажешь, что на его долю выпало столь тяжелое испытание. У него превосходная долговременная память. Он проучился три семестра в колледже. Правда, из-за трудностей с правой рукой не успевал записывать лекции, поэтому с учебой пришлось расстаться, зато устроился на работу в ресторан. Мэтью отвечает на телефонные звонки, заботливо обслуживает посетителей, подает блюда и берется за все, что ему поручают. Окружающие и не подозревают, что у него только половинка мозга. Как выражается Валери, «кто не знает, никогда и не заподозрит».

Как это возможно, что хирургическое удаление такой крупной части мозга никак себя не проявляет? А вот как: оставшаяся часть динамически перемонтировала свои нейронные связи, чтобы взять на себя функции отсутствующего полушария. Первоначальные схемы нейронной сети приспособлялись, чтобы помещаться в меньшем пространстве и сосредоточивать в себе все функции нормальной жизни, располагая лишь половиной прежнего «оборудования». Из смартфона нельзя выкинуть половину электронной начинки и рассчитывать, что он по-прежнему будет посылать и принимать звонки, ибо хардвер – штука тонкая и уязвимая. Лайфверу все нипочем, он прочный и стойкий.

* * *

В 1596 году фламандский картограф Авраам Ортелиус как-то разглядывал карту мира, и вдруг его озарило: контуры обеих Америк и Африки со стороны Атлантического океана удивительно подходили друг к другу, как фрагменты пазла. Их явно можно было совместить, хотя картограф не имел представления, какая сила могла разъединить их, растащив в стороны. В 1921 году немецкий геофизик Альфред Вегенер выдвинул гипотезу материкового дрейфа: вопреки представлениям, что материки неподвижны и их взаимное расположение незыблемо, они, судя по всему, дрейфуют, словно исполинские кувшинки. Дрейф материков происходит микроскопическими темпами (примерно теми же, какими у вас растут ногти), но если бы мы сумели снять фильм продолжительностью в миллионы лет, то увидели бы материковую сушу как часть динамической текучей системы, которая меняется, подчиняясь законам распределения тепла и давления.

Подобно земному шару, мозг тоже представляет собой динамическую текучую систему. Но каким законам она подчиняется? Число научных статей о нейропластичности перевалило за сотни тысяч. Но и сегодня, взирая на эту таинственную розоватую самонастраивающуюся материю, мы не знаем всеобщих основ, которые подсказали бы нам, почему и как мозг творит свои чудеса. Данная книга в целом обрисовывает эти основы, что позволит нам лучше понять, кто мы, как стали такими и куда идем.

Раз уж мы переключились на образ мышления в категориях живой нейронной сети, следует признать, что нынешние машины с жестко заданной конструкцией безнадежно бесполезны для нас в будущем. В самом деле, традиционное проектирование машин и механизмов предполагает тщательную проработку всех важных конструктивных элементов. Автостроительная компания, например, при модернизации ходовой части автомобиля долгие месяцы проектирует двигатель, который бы в точности отвечал новым параметрам. А теперь представьте, что вы спроектировали автомобилю новый кузов по собственному усмотрению, а двигатель самостоятельно, без вашего участия, под этот кузов подстраивается. Как мы увидим далее, стоит нам понять принципы построения живой нейронной сети, и мы обратим себе на

¹⁴ Мэтью прихрамывает на ногу, противоположную удаленному полушарию, поскольку каждое из полушарий отвечает за противоположную сторону тела. Остаточная хромота обусловлена тем, что сохранившееся полушарие мозга Мэтью только отчасти, а не полностью сумело взять на себя двигательную функцию удаленного полушария.

пользу гений Матери-природы при создании новых машин, которые сами гибко определяют, какой быть схеме их соединений, посредством самооптимизации под характер входных данных и обучения на накопленном опыте.

Самое волнующее в жизни – не то, кто мы есть сейчас, а трепетное ожидание новой личности, которая постоянно подспудно вызревает в нас. Так и колдовство мозга кроется не в его элементах, а в том, как эти элементы каждый миг по-новому свиваются-перевиваются, образуя динамичную, наэлектризованную живую ткань.

Даже несколько страничек, которые вы сейчас прочитали, и те изменили ваш мозг: заполняющие их печатные символы стронули лавину из миллионов микроперемен в бескрайних лесах ваших нейронных связей, вылепив новую личность, чуточку отличную от той, какой вы были в начале главы.

Глава 2. Просто добавь реальности

Как вырастить хороший мозг

Мозг является в мир не чистым листом – он приходит уже экипированным под определенные ожидания. Возьмем, например, цыпленка: вылупившись из яйца, он уже через несколько минут ковыляет на маленьких, неверных пока ножках и даже умеет неуклюже бегать, а если что, может и затаиться. Среда обитания не позволяет цыпленку потратить месяцы на выработку навыков передвижения.

Точно так же и младенцы приходят в мир, уже располагая набором предустановленных программ. Возьмем хотя бы тот факт, что мы уже при рождении оборудованы всем необходимым, чтобы научиться говорить. Или что, глядя на показывающего язык взрослого, младенец способен проделать то же самое, хотя это и требует изощренной способности переводить зрительные впечатления в моторный акт¹⁵. Или что волокнам глазного нерва не надо учиться находить свои цели в глубинах мозга; они просто следуют подсказкам сигнальных молекул¹⁶ и попадают куда следует – и так происходит всякий раз. За эти жесткие схемы можно сказать спасибо нашим генам. Но генетически обусловленных связей для создания таких схем недостаточно, особенно у человека. Система организована очень сложно, а генов не так уж много. Даже если учитывать «перетасовки, нарезки и склейки»¹⁷, которые делают возможным появление множества разновидностей одного и того же гена, число нейронов и нейронных связей во много раз превышает число генных сочетаний.

В целом уже известно, что в конкретизации схем нейронной сети мозга участвует не только генетика. Ученые еще пару веков назад догадывались о чем-то подобном и правильно предположили, что существенную роль должны играть особенности чувственного опыта. В 1815 году физиолог Иоганн Шпурцгейм допустил, что мозг, подобно мышцам, тоже можно развить упражнениями: его идея состояла в том, что кровь переносит питательные вещества для роста и «обильнее снабжает ими возбужденные участки»¹⁸. В 1874 году Чарлз Дарвин заинтересовался, можно ли, опираясь на идею Шпурцгейма, объяснить, почему у кроликов в дикой природе размеры мозга больше, чем у их одомашненных собратьев. Дарвин предположил, что животные в природе вынуждены больше использовать смекалку и полагаться на чувства, чем одомашненные кролики; соответственно подстроились и размеры мозга¹⁹.

В 1960-х годах ученые всерьез заинтересовались, появляются ли в мозге заметные измеримые изменения в результате получения опыта. Самым простым было выращивать лабораторных крыс в разных средах: например, в обогащенной, где присутствуют разнообразные игрушки и беговые колеса, или в обедненной – проще говоря, в одиночной пустой клетке²⁰. Результаты опытов поражали: среда жизни меняла структуру крысиных мозгов, к тому же выявилась корреляция между структурой мозга и способностью зверьков к обучению и запоминанию. Выращенные в обогащенной среде крысы лучше справлялись с задачами, а при ауто-

¹⁵ Gopnik A, Schulz L (2004). Mechanisms of theory formation in young children, Trends Cogn Sci 8: 371–377.

¹⁶ Сигнальные молекулы – это различные химические вещества, способные передавать внутрь клетки сигналы из внешней среды и внутренней среды организма. *Прим. ред.*

¹⁷ Возможно, автор имеет в виду процессы сплайсинга, когда из базовой матричной РНК в разных условиях вырезаются разные участки и производятся разные белки, или сайленсинга, при котором экспрессия гена может быть подавлена. *Прим. науч. ред.*

¹⁸ Spurzheim J (1815). The physiognomical system of Drs. Gall and Spurzheim, 2nd ed. (London: Baldwin, Cradock and Joy).

¹⁹ Darwin C (1874). The Descent of man (Chicago: Rand, McNally).

²⁰ Bennett EL et al. (1964). Chemical and anatomical plasticity of brain, Science 164: 610–619.

псии²¹ у них обнаружили буйные заросли длиннющих дендритов (похожие на ветви отростки, отходящие от тела клетки)²². В то же время у крыс, выросших в обедненных условиях, обучаемость была слабой, а нейроны аномально сморщенными. Точно такой же эффект внешней среды обнаружен у птиц, обезьян и других млекопитающих²³. Внешняя среда имеет большое значение для мозга (рис. 2.1).



Рис. 2.1. В норме нейрон разрастается, будто ветвистое дерево, благодаря чему может соединяться с другими нейронами. В обогащенной среде отростки нейрона разрастаются гуще и ветвятся обильнее, в обедненной среде они чахлые и ссохшиеся

Происходит ли подобное с человеческим мозгом? В начале 1990-х калифорнийские ученые додумались воспользоваться возможностями аутопсии при сопоставлении мозга людей, получивших только школьное образование, и выпускников колледжей. Как и при исследовании лабораторных животных, обнаружилось, что у людей с высшим образованием область, ответственная за понимание устной и письменной речи, содержит более ветвистые и густые заросли дендритов²⁴.

Таким образом, первый урок заключается в том, что микроструктура мозга отражает особенности среды, воздействию которой он подвергается. И относится это не только к дендритам. Вскоре мы узнаем, что опыт общения с миром модулирует почти все измеримые элементы мозга, начиная с молекулярного уровня и заканчивая общим анатомическим строением.

Без опыта – никуда

Почему Эйнштейн стал Эйнштейном? Генетика определенно сыграла в этом свою роль, однако в наши учебники по истории он попал благодаря каждой частице опыта, какой ему довелось получить: музыкальная среда и звуки виолончелей, учитель физики в старшем классе, отказ любимой девушки, патентное бюро, где он работал, математические задачи, за блестящее

²¹ Аутопсия – патологоанатомическая или судебно-медицинская процедура, посмертное вскрытие и исследование тела, в том числе внутренних органов. Обычно производится для установления причины смерти. *Прим. ред.*

²² Diamond M (1988). Enriching Heredity (New York: Free Press).

²³ Rosenzweig MR, Bennett EL (1996). Psychobiology of plasticity: Effects of training and experience on brain and behavior, Behav Brain Res 78: 57–65; Diamond M (2001). Response of the brain to enrichment, An Acad Bras Ciênc 73: 211–220.

²⁴ Jacobs B, Schall M, Scheibel AB (1993). A quantitative dendritic analysis of Wernicke's area in humans. II. Gender, hemispheric, and environmental factors, J Comp Neurol 327: 97–111. И тут вы зададите мне резонный вопрос, в какую сторону направлен вектор причинно-следственной связи: разве не могли эти более качественные дендриты развиваться не в результате учебы, а наоборот, помогли их обладателям выдержать вступительные испытания в колледж? Хороший вопрос. У нас еще не проводилось экспериментов, которые могли бы прояснить его. Зато в последующих главах мы увидим, что сегодня у нас есть возможность замерять, как меняется мозг непосредственно в процессе обучения новому, в том числе жонглированию, музыке, судовождению и прочему.

решение которых его превозносили, книги, которые он читал, равно как и миллионы фрагментов последующего опыта, – все это в совокупности позволило его нервной системе сформировать биологическую систему, которую мы называем Альбертом Эйнштейном. Каждый год в мир приходят тысячи детей с задатками не хуже, чем у него, однако воздействия внешней среды – культуры, экономических условий, состава семьи – не дают им достаточной положительной обратной связи. И Эйнштейны из них не вырастают.

Если бы все решала только ДНК, отпал бы практический смысл в построении целенаправленных социальных программ, призванных прививать детям положительный опыт и ограждать их от опыта разрушительного. Но мозгу, чтобы правильно развиваться, требуется правильная внешняя среда. Один из больших сюрпризов преподнес нам проект «Геном человека»: когда на рубеже нового тысячелетия ученые вчерне составили структуру генома, оказалось, что у человека имеется всего-навсего около 20 тысяч генов²⁵. Такого биологи не ожидали: они-то предполагали, что генов у человека должно быть никак не меньше сотен тысяч, учитывая невероятную сложность устройства мозга и организма в целом.

Тогда каким же образом невероятно сложно устроенный мозг, насчитывающий 86 млрд одних только нейронов, умудряется выстраивать себя на основе простейшего «букваря»? Ответ строится на применяемой геномом остроумной стратегии: его дело – выточить болванку и предоставить опыту общения с миром доводить ее до ума. Словом, мозг человека при рождении поразительно не завершен, и для его развития требуется взаимодействие с окружающим миром.

Рассмотрим цикл сна и бодрствования. Его регулируют внутренние часы организма, называемые *циркадным ритмом*, который настроен примерно на 24-часовой цикл. Если же вы на несколько суток спуститесь в пещеру, куда не проникает дневной свет, возвещающий время суток, ваш циркадный ритм сместится в диапазон 21–27 часов. Здесь нам открывается придуманное мозгом простое решение: приблизительно задать основу биологических часов, а дальше пускай они сами подстраиваются под суточный цикл солнца. Такой изящный трюк избавляет нас от необходимости генетически кодировать внутренние часы с идеально точным ходом – пускай мир сам вращает их шестеренки как полагается.

Поскольку мозг обладает гибкостью, события вашей жизни впечатываются напрямую в его нервную ткань. Эта грандиозная выдумка Матушки-природы позволяет нам учить языки, ездить на велосипеде, постигать премудрости квантовой физики – и вся наша способность обучаться новому прорастает из зернышек весьма скромного набора генов. ДНК не план и не проект, а лишь первая костяшка домино, которая дает начало всему шоу нашего становления.

С этих позиций легко понять, почему ряд самых распространенных нарушений зрения (скажем, неспособность корректно воспринимать глубину) развиваются из-за разбалансировки в паттернах активности, передаваемых в зрительную кору от одного и другого глаза. Например, у детей с врожденным сходящимся или расходящимся косоглазием работа глаз не может быть скоординирована (как было бы при правильном расположении глазных (зрительных) осей). Без лечения у ребенка не разовьется нормальное стереоскопическое зрение, то есть способность четко воспринимать размеры, формы и расстояния, несмотря на легкие различия в изображениях, поступающих от каждого глаза. Один глаз будет постепенно слабеть вплоть до слепоты. Ниже мы разберемся, почему такое происходит и как это исправить. А пока уясним важный момент: развитие нормальной зрительной системы зависит от нормального притока зрительных импульсов – иными словами, зависит от опыта.

²⁵ Первоначально в рамках проекта «Геном человека» ученые насчитали порядка 24 тысяч генов; позже их число значительно снизилось – до 19 тысяч. См. Ezkurdia I et al. (2014). Multiple evidence strands suggest that there may be as few as 19,000 human protein-coding genes, *Hum Mol Genet* 23 (22): 5866–5878.

Таким образом, генетические инструкции играют лишь малую роль в деталях формирования кортикальных связей. Иначе и быть не может: разве каких-то 20 тысяч генов хватит, чтобы в деталях прописать 200 триллионов соединений между нейронами? Такая сверхсложная модель никогда бы не сработала. Напротив, чтобы нейронные сети нормально развивались, им требуется взаимодействовать с реальностью²⁶.

Смелая авантюра природы

29 сентября 1812 года на свет появился младенец, которому предстояло унаследовать престол Великого герцогства Баден. Но, увы, через 17 дней он скончался. На том его коротенькая история и закончилась.

Или не закончилась? Спустя 16 лет в Нюрнберге объявился странный юноша, называвший себя Каспаром Хаузером. При нем имелась записка, где значилось, что он был брошен в детстве. Сам юноша явно не умел говорить, а только твердил две-три фразы, включая такую: «Хочу быть кавалеристом, как мой отец». Чудной найденыш вызывал всеобщий интерес в городе, им заинтересовались и городские верхи; поползли слухи, что он и есть наследный принц Бадена, просто в первые дни жизни его подменили умирающим младенцем нечестивые заговорщики, метившие на баденский престол.

Впрочем, история найденыша приобрела широкую известность и помимо дворцовых интриг: в Каспаре видели классический пример ребенка-дикаря. Как следовало из его сбивчивых речей, все детство он провел в одиночестве, заточенный в тесную подземную каморку, куда не проникал дневной свет. Темница имела метр в ширину, два в длину и полтора в высоту. Помимо убогого соломенного ложа обстановку составляла лишь детская деревянная лошадка.

²⁶ В последующих главах мы рассмотрим данную тему более глубоко и подробно. Хотя зависимость и независимость от опыта представляются противоположностями, между ними не всегда можно провести четкую грань. См. Cline H (2003). Sperry and Hebb oil and vinegar? *Trends Neurosci* 26 [12]: 655–661). В одних случаях жестко запрограммированные механизмы воспроизводят опыт взаимодействия с миром, тогда как в других случаях подобный опыт ведет к экспрессии генов, что, в свою очередь, приводит к образованию новых жестких схем. Рассмотрим, как выглядит картина явной опытозависимой активности: первичная зрительная кора содержит перемежающиеся полосы ткани, которые несут визуальную информацию от правого и от левого глаза (подробнее об этом поговорим ниже). Аксоны, передающие информацию от каждого глаза, изначально широко ветвятся в коре, а потом разделяются, направляясь в два участка, отдельные для правого и левого глаза. Откуда они знают, как им разойтись? Дело в том, что разделение возникает в силу паттернов сопряженной активности: у нейронов левого глаза обычно наблюдается больше взаимной сопряженности, чем у нейронов правого. В середине 1960-х годов нейробиологи из Гарвардского университета Дэвид Хьюбел и Торстен Визель показали, что под действием опыта карта равномерного чередования полос способна меняться: если животному закрыть один глаз, территория, занимаемая нервными волокнами открытого глаза, будет расширяться, и это демонстрирует, что в условиях синаптической конкуренции, которая формирует эти карты, необходима нейронная активность. См. Hubel DH, Wiesel TN (1965). Binocular interaction in striate cortex of kittens reared with artificial squint, *J Neurophysiol* 28: 1041–1059). Однако во всем этом определенно крылась загадка, поскольку, как ранее наблюдали Хьюбел и Визель, формирование чередующихся территорий для левого и правого глаза не зависит от активности: подобные паттерны развивались даже у выросших в полной темноте животных. См. Horton JC, Hocking DR [1996]. An adult-like pattern of ocular dominance columns in striate cortex of newborn monkeys prior to visual experience, *J Neurosci.* 16 [5]: 1791–1807. Как же согласуются эти два результата, когда они явно противоречат один другому? Понадобились годы, чтобы разгадать этот парадокс. Как обнаружилось, пока животное развивается в материнской утробе, в сетчатке его глаз возникают волны спонтанной активности. Эти волны в общих чертах имитируют зрение. Они грубые – не позволяют различать границы и детали, однако их достаточно для сопряжения активности соседних волокон, тянущихся от каждого глаза, что вызывает разделение на два отдельных глаза в следующих областях мозга (таких как, например, латеральное коленчатое тело таламуса, а также кора головного мозга). Иными словами, на раннем этапе развития мозг сам генерирует активность, чтобы поддержать расхождение аксонов левого и правого глаза; позже в действие вступают зрительные потоки от внешнего мира. См. Meister M et al. (1991). Synchronous bursts of action potentials in ganglion cells of the developing mammalian retina, *Science* 252 (5008): 939–943. Таким образом, граница между приобретаемым опытом и генетически заложенной нейронной активностью довольно-таки размыта. Взаимодействие между опытом и экспрессией генов бывает довольно сложным. Общий принцип в том, что независимые от опыта молекулярные механизмы выстраивают первоначально неточные схемы структур мозга. Позже активность взаимодействия с миром обеспечивает тонкую настройку нейронных связей. Мы больше не можем воспринимать мозг либо как результат работы генов, либо как плод взаимодействия с миром, потому что иногда гены имитируют опыт. Механизмы, зависящие и не зависящие от опыта, тесно переплетены.

Просыпаясь поутру, Каспар всякий день находил в своем обиталище немного хлеба и воды; другой пищи он не знал. И никогда не видел, чтобы кто-то входил в его каморку или выходил из нее. Временами ему оставляли воду не совсем такого вкуса, как обычно, и, попив ее, он погружался в сон, а проснувшись, замечал, что у него подстрижены волосы и ногти. За все время заточения у него не было прямого контакта с другими людьми. Человек, который обучал его письму, всегда закрывал лицо, так что юноша не мог бы его узнать.

История Каспара Хаузера приковала к себе внимание мира. Мальчик вырос, научился четко выражать свои мысли и позже с обильными трогательными подробностями описывал в автобиографии свое несчастное детство. Его необычная судьба и сегодня живет в пьесах, книгах и музыке; возможно, Каспар – самый знаменитый в истории найденыш-маугли.

Однако рассказы Каспара почти наверняка были выдумками. Помимо обширных исторических исследований, исключивших достоверность его повествования, тому имеются и причины нейробиологического свойства: не смог бы ребенок, выросший в отрыве от людей, выучиться ходить, говорить, писать, выступать на публике и жить благополучной жизнью, как это произошло с Каспаром. Средства массовой информации почти сотню лет мушкетировали его историю, пока Карл Леонгард²⁷ не поставил в ней жирную точку, без всяких экивоков высказавшись по существу дела:

«Живи Каспар с детства в описываемых им условиях, в умственном развитии он не ушел бы дальше клинического идиота и, безусловно, вряд ли смог прожить долго. Его рассказы настолько изобилуют нелепицами, что остается только удивляться, почему столь многие в них поверили и по сей день продолжают верить»²⁸.

В конце концов, хотя роль генетических программ неоспорима, Мать-природа устроила так, что мозг в своем развитии опирается на получение обширного разностороннего жизненного опыта, включая социальные взаимодействия, разговоры, игры, внешние воздействия и все прочее, из чего складывается ландшафт нормального человеческого общения. Стратегия взаимодействия с миром дает колоссальной системе мозга возможность формироваться при участии достаточно скромного набора «прописей». Это весьма изобретательный подход к упаковке мозга (и всего организма) из одной микроскопической яйцеклетки.

И все же в такой стратегии присутствует элемент авантюризма. Она сопряжена с некоторым риском, ведь работа по формированию мозга частично перепоручается опыту общения с миром, а не жестко предустановленным схемам. А вдруг младенец повторит несчастную судьбу Каспара и проведет детство, совершенно заброшенный родителями?

К большому прискорбию, ответ нам известен. Вот пример: в июле 2005 года полиция Планта-сити прибыла для проведения расследования к покосившемуся домишке. Полицейских насторожило сообщение соседа: тот несколько раз замечал в одном из окон дома маленькую девочку, но ни разу не видел, чтобы она выходила на улицу, как никогда не видел рядом с ней никого из взрослых.

Полицейские несколько раз стучали в дверь, и в конце концов им открыла женщина. Ей сообщили, что выписан ордер на обыск дома для поисков ее дочери. Полицейские вошли в дом, прошли по коридорам, осмотрели несколько комнат и наконец заглянули в тесную комнатушку. Там и находилась девочка (рис. 2.2). Одну из женщин-полицейских затошнило.

²⁷ Карл Леонгард (1904–1988) – немецкий психиатр. Разработал одну из первых типологий характеров, введя в науку концепцию акцентуированных личностей. *Прим. ред.*

²⁸ Leonhard K (1970). Kaspar Hauser und die moderne Kenntnis des Hospitalismus, *Confin Psychiat* 13: 213–229.



Рис. 2.2. Даниэль, дикий ребенок, найденный в 2005 году во Флориде. Хотя по фото видно, какое у девочки красивое личико, в ее поведении и проявлениях отсутствует что-либо присущее нормальному человеческому общению: она пропустила критически важное для развития временное окно, когда ей следовало бы получить от мира должный приток впечатлений и опыта

Melissa Lyttle / Tampa Bay Times

Даниэль Крокетт, девочка с явными признаками задержки роста для своих почти семи лет, провела все детство взаперти, в темной камере размерами со шкаф. Тело ребенка сплошь покрывала короста из фекалий и тараканьих экскрементов: об удовлетворении элементарных обиходных потребностей с чьей-либо помощью и речи не шло. Она не знала родительской ласки, никто никогда не говорил с ней нормальным языком, к тому же ее ни разу в жизни не выпускали на воздух. Девочка совершенно не умела разговаривать. При встрече с сотрудниками полиции (а позже с социальными работниками и психологами) она смотрела как будто сквозь них, не выказывала никаких проблесков осознания того, что к ней обращаются, или признаков понимания, что такое нормальное человеческое общение. Даниэль не умела пережевывать твердую пищу, не знала, как пользоваться туалетом, как выразить согласие кивком или в знак отрицания помотать головой, а спустя год все еще не освоила кружку-поильник. После многочисленных обследований и тестов врачи исключили наличие у девочки генетических расстройств, в том числе коркового паралича, аутизма и синдрома Дауна. Напротив, нормальное развитие ее мозга было нарушено жестокой социальной депривацией (невозможностью общаться с другими людьми).

Несмотря на все старания врачей и социальных работников, перспективы у Даниэль безрадостные: скорее всего, она проведет свои дни в интернате для инвалидов и, может быть, в конце концов научится обходиться без подгузников²⁹. Сердце разрывается от мысли, что на

²⁹ DeGregory L (2008). The girl in the window, St. Petersburg Times. Добавлю, что в последние годы у Даниэль отмечаются некоторые улучшения. Она научилась пользоваться туалетом, понимает, что ей говорят, и даже способна на вербальные ответы, хотя и в ограниченных пределах. Недавно она посещала младшую группу детского сада и училась обводить буквы. Это добрые и отрадные признаки; к несчастью, по-прежнему мало надежды, что девочка сколько-нибудь существенно нагонит в развитии и восполнит пробелы, образовавшиеся в первые трагические годы ее жизни. И вот еще что хотелось бы отметить. У детей, подобно Даниэль растущих в условиях стресса и депривации, как правило, наблюдается значительное отставание в росте; этот феномен называют психологической карликовостью. Как будто в насмешку, в 1990-е годы один деятель от медицины попытался ввести для него новый термин: синдром Каспара Хаузера. См. Money J (1992). The Kaspar Hauser syndrome of "psychosocial dwarfism": Deficient statural, intellectual, and social growth induced by child abuse, Prometheus Books, 1992. Выбор крайне неудачный, если учесть, что Хаузер почти наверняка выдумал, что рос в одиночестве и дикости.

долю бедняжке досталось реальное, а не выдуманное каспар-хаузеровское детство с реальными тяжелейшими последствиями.

Почему последствия изоляции оказались для Даниэль столь ужасными? Дело в том, что человеческий мозг является на свет недозавершенным. Для правильного развития ему требуется должный поток входящей информации от мира. Мозг впитывает опыт общения с миром для распаковки заложенных в нем программ, только пока открыто временное окно. А этот период очень недолог, и, если мозг вовремя не воспользовался им, снова открыть окно трудно или даже невозможно.

В трагедии Даниэль просматривается параллель с экспериментами на животных, с начала 1970-х годов проводимыми в Висконсинском университете психологом Гарри Харлоу: он изучал на обезьянах узы между матерью и детенышами. Карьера шла в гору, но в 1971 году его жена умерла от рака и Харлоу погрузился в депрессию. Он продолжал научную работу, но коллеги и друзья чувствовали, что Гарри уже не тот, каким был прежде. В тот период Харлоу переключил свои научные интересы на изучение депрессии.

Для моделирования клинической депрессии человека он использовал макак-резусов, изучая на них воздействие изоляции. Он помещал детенышей в глухую стальную клетку и наблюдал за ними через зеркало Гезелла³⁰, которое позволяло ему смотреть внутрь, но не давало детенышу возможности смотреть наружу. Одного Харлоу пробовал держать в запертой клетке 30 дней. Другой находился в изоляции в течение полугода, а еще несколько – целый год.

Лишенные возможности развить нормальные социальные связи детеныши макаки-резуса (Харлоу помещал их в «карцер» вскоре после рождения) вырастали с глубоко укоренившимися нарушениями. Те, что прожили в изоляции дольше остальных, заканчивали примерно как Даниэль: не умели общаться с сородичами, не принимали участия в отдыхе и играх, кооперации или соперничестве. Они еле-еле двигались, а двое перестали принимать пищу.

Харлоу отмечал также, что его подопытные не способны к нормальным сексуальным отношениям. Однако он все равно произвел нескольким выросшим в изоляции самкам искусственное оплодотворение, чтобы посмотреть, как эти психологически ущербные мамы будут обращаться с собственным потомством. Результат был ужасен: самки выказали полную неспособность нянчить и растить детенышей. В лучшем случае они просто не обращали на них внимания, в худших – наносили им увечья³¹.

Из экспериментов Харлоу на макаках-резусах можно извлечь те же уроки, что и из бесчеловечного обращения с девочкой Даниэль: стратегия, избранная Матушкой-природой для распаковки новорожденного мозга, опирается на соответствующий опыт взаимодействия с реальностью. Без такого опыта мозг вырастает недоразвитым и болезненным. Как дереву для пышности кроны требуется богатая питательными веществами почва, так и мозгу необходима среда, богатая социальным и сенсорным взаимодействием.

* * *

Познакомившись с основами, мы видим, что мозг для придания себе должной формы использует окружающую его среду. Но как именно мозг впитывает опыт и впечатления мира, если учитывать, что он заключен в темнице черепа? Что происходит с мозгом, когда человек

³⁰ Зеркало Гезелла – стекло, которое с одной стороны выглядит как зеркало, а с другой как прозрачное стекло. Позволяет экспериментатору наблюдать за кем-то, оставаясь незамеченным. Для психологического эксперимента его впервые применил американский психолог А. Гезелл. *Прим. науч. ред.*

³¹ К счастью, ныне действующие протоколы по защите прав животных запрещают проводить подобные исследования. Но даже в те времена живодерские эксперименты Харлоу приводили в ужас многих его коллег, и это сильно повысило градус движения в защиту прав животных в США. Один из критиков Харлоу, Уэйн Бут, писал, что эксперименты доказывают лишь «то, что все мы и так знаем наперед: социальные существа можно уничтожить, если оборвать их социальные связи».

теряет руку или слух? Правда ли, что у незрячего обостряется слух? И какое отношение все это имеет к ответу на вопрос, почему нам снятся сны.

Глава 3. Внутреннее как зеркало внешнего

Дело обезьянок из Сильвер-Спринг

В 1951 году нейрохирург Уайлдер Пенфилд³² опустил кончик тонкого электрода внутрь мозга оперируемого пациента³³ и обнаружил удивительное явление в мозговой ткани, ровно под той полоской кожи на голове, куда приходилась дуга надетых наушников. Когда Пенфилд стимулировал определенную точку в этом участке коры слабым электрическим разрядом, у пациента возникало ощущение, что кто-то дотронулся до его руки. При стимуляции рядом расположенного участка пациент ощущал прикосновение к туловищу. А другой участок, получив электрический разряд, вызывал у пациента ощущение, что дотронулись до его колена. Дальше выяснилось, что каждая область тела представлена в этой области мозга соответствующей чувствительной точкой.

Позже Пенфилду открылись новые глубины обнаруженного им явления: участки мозга, отвечающие за чувствительность прилежащих частей тела, тоже располагаются в коре мозга по соседству. Кисть руки представлена по соседству с предплечьем, предплечье – по соседству с локтем, а отвечающий за локоть участок соседствует с тем, который отвечает за плечо. И так далее. Словом, вдоль этой полоски мозговой ткани располагается подробная топографическая карта тела. Медленно двигаясь вдоль соматосенсорной коры, Пенфилд мог получить карту всего тела человека³⁴.

Более того: он нашел еще одну кортикальную карту. Выяснилось, что при последовательной стимуляции участков, расположенных вдоль двигательной (моторной) коры (область непосредственно перед соматосенсорной корой), результат был примерно тем же: слабый разряд тока заставлял сокращаться мышцы в конкретных расположенных по соседству участках тела. Причем представления прилежащих участков тела в двигательной коре повторяли их расположение в соматосенсорной коре (рис. 3.1).

³² Уайлдер Пенфилд (1891–1976) – канадский нейрохирург. Вместе с другими исследователями разрабатывал методы хирургического лечения эпилепсии, а затем использовал полученные результаты для исследования структуры мозга и его функциональной организации. *Прим. ред.*

³³ Penfield W (1952). Memory mechanisms, *AMA Arch Neurol Psychiatry* 67 (2): 178–198; Penfield W (1961). Activation of the Record of Human Experience, *Ann R Coll Surg Engl* 29 (2): 77–84.

³⁴ Кора головного мозга представляет собой его внешний слой толщиной около 3 мм. Ее еще называют серым веществом, поскольку ее клетки имеют более темный оттенок по сравнению с расположенным ниже белым веществом. У крупных животных она обычно собрана в складки (извилины), разделенные бороздами. Часть коры, в которой Пенфилд впервые обнаружил отвечающие за разные части тела участки, носит название соматосенсорной коры, которая отвечает за ощущения, поступающие от тела, или сомы.

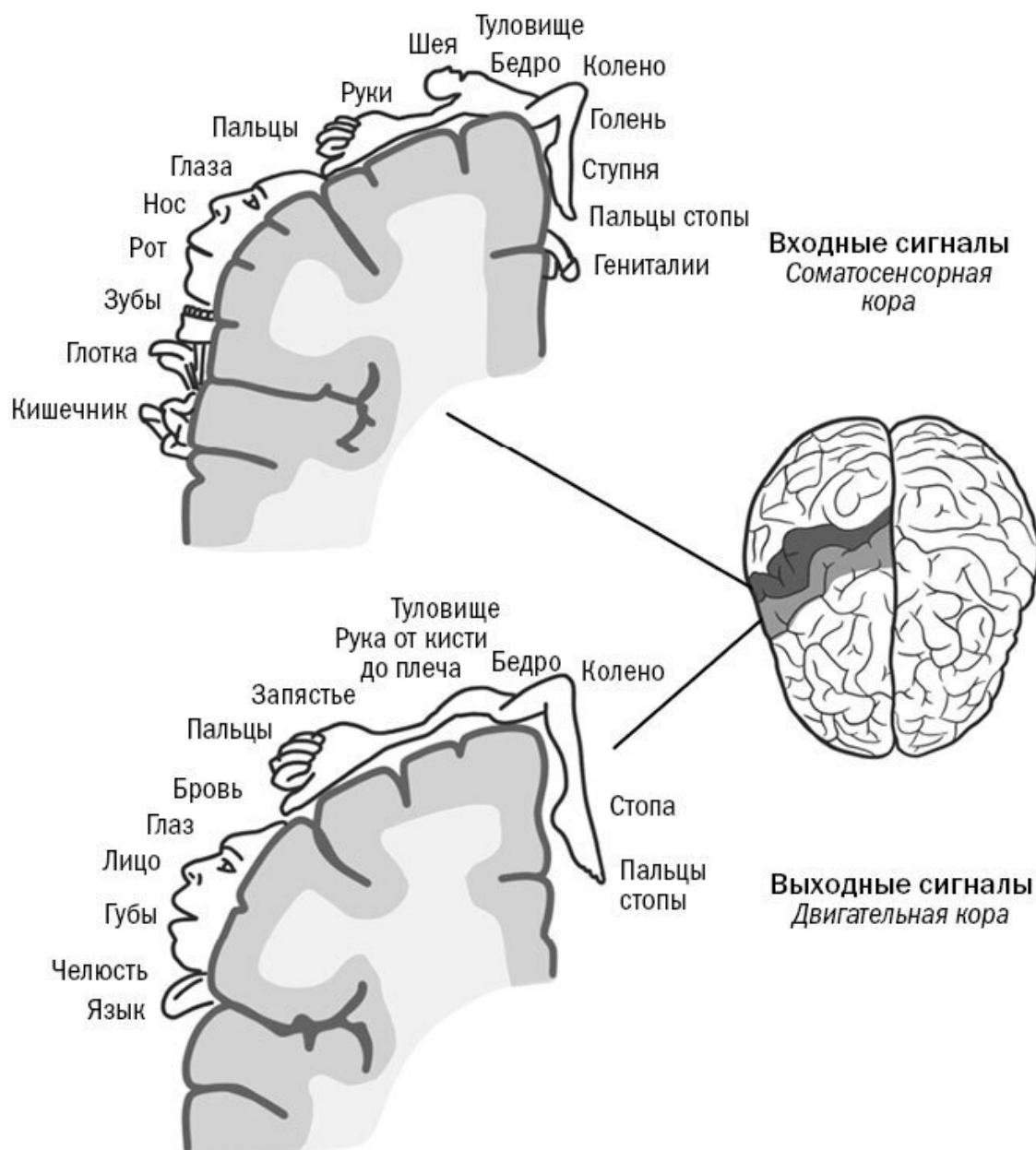


Рис. 3.1. Карты тела обнаружены в тех участках коры, куда поступают входные сигналы (соматосенсорная кора, вверху), откуда исходят ответные сигналы (двигательная кора, внизу). Частям тела с более высокой чувствительностью или более тонким управлением соответствуют большие области коры

Печатается с разрешения автора

Пенфилд назвал эти карты тела гомункулуcom³⁵.

Разве можно ожидать, что в мозге имеются подобные карты тела? Не странно ли это? Как они вообще там существуют, ведь мозг заключен в черепе, причем в полной темноте? Примерно 1,3 кг мозговой ткани не могут знать, как выглядит ваше тело; мозг лишен возможности напрямую видеть его. У мозга есть доступ лишь к потокам электрических импульсов, которые стремительно проносятся по густым сплетениям информационных кабелей, называемых в обиходе нервами, он, по идее, не может иметь представления, какие конечности, в каких

³⁵ Гомункулус – в представлении средневековых алхимиков существо, подобное человеку, которое можно получить искусственным путем. Прим. ред.

местах и в каком порядке присоединяются к туловищу. Но тогда откуда в абсолютной темноте под сводами черепа берется карта схемы тела?

Небольшое умственное усилие тут же подскажет вам, как просто открывается этот ларчик: схема тела наверняка генетически заложена в коре мозга. Отличная догадка!

Но только неправильная. Все обстоит с точностью до наоборот: разгадка бесподобно изящна и дьявольски хитроумна.

* * *

Ключик к тайнам карты тела нашелся спустя десятилетия, и то в силу непредвиденного стечения обстоятельств. Научный сотрудник Института поведенческих исследований в Сильвер-Спринг Эдвард Тауб изучал возможности восстановления двигательной активности после тяжелых мозговых повреждений. В ходе экспериментов на 17 обезьянах (макаках) он планировал определить, возможна ли регенерация поврежденных нервов. Каждому животному Эдвард аккуратно перерезал чувствительные нервы, связывающие мозг с одной из конечностей. Как он и ожидал, подопытные животные теряли чувствительность в «отключенной» конечности. Тауб приступил к исследованиям с целью выяснить, существуют ли способы восстановить пользование бездействующей конечностью.

В 1981 году в лаборатории Тауба начал работать молодой волонтер Алекс Пачеко. Он представился студентом, которого якобы весьма интересовала исследуемая Таубом научная проблематика, а на самом деле был лазутчиком и действовал в интересах набиравшей обороты некоммерческой организации «Люди за этичное отношение к животным» (англ. PETA: People for the Ethical Treatment of Animals), сооснователем которой являлся. По ночам Пачеко фотографировал подопытных макаков. Некоторые его фото носили явно постановочный характер и преувеличивали страдания животных³⁶, но, как бы там ни было, желаемого эффекта он добился. В 1981 году полиция округа Монтгомери провела рейд в лабораторию и закрыла ее на основании жестокого обращения с животными. Доктору Таубу предъявили обвинение по шести пунктам в неоказании должной ветеринарной помощи. В ходе апелляции все обвинения были сняты, но тем не менее события в Сильвер-Спринг привели к тому, что в 1985 году был принят Закон о благополучии животных (Animal Welfare Act), в котором конгресс США прописал новые правила содержания животных в исследовательских лабораториях.

Хотя эта история стала поворотным пунктом в защите прав животных, ее значение не ограничивается баталиями в стенах конгресса. В нашем контексте нас прежде всего интересует, что потом происходило с теми семнадцатью травмированными обезьянками. По следам полицейского рейда в лабораторию набегали активисты PETA и унесли зверьков с собой, что дало повод к обвинениям в краже вещественных доказательств по делу. Разгневанные сотрудники института потребовали вернуть животных. Судебные страсти разгорались все жарче, пока спор о владении подопытными обезьянами не достиг высшей судебной инстанции – Верховного суда США.

Верховный суд отклонил прошение PETA вернуть обезьян и передал опеку над ними третьей стороне – национальным институтам здравоохранения. Пока «старшие братья» пререкались в залах суда за тридевять земель от Сильвер-Спринг, обезьянки-инвалиды наслаждались досрочной отставкой и беззаботно предавались радостям жизни: ели, пили и играли друг с другом. Так пролетели десять лет.

Под конец эпопеи одна обезьянка неизлечимо заболела. Суд дал согласие на усыпление. Тут-то в сюжете и произошел важный поворот. Группа нейробиологов обратилась к суду с предложением: нанесенное животному жестокое увечье можно будет хоть как-то оправдать,

³⁶ Ettlin D (1981). Taub denies allegations of cruelty, Baltimore Sun, Nov. 1, 1981.

если ученым дадут разрешение перед эвтаназией провести под наркозом картирование мозга животного. После некоторых дебатов суд пошел им навстречу.

14 января 1990 года исследователи поместили регистрирующие электроды в соматосенсорную кору обезьянки. Далее они проделали то же самое, что в свое время Уайлдер Пенфилд на мозге пациента-человека: по очереди дотрагивались до кисти, локтя, мордочки и прочих частей тела животного и фиксировали реакцию нейронов мозга. Таким путем была описана карта тела обезьянки, существующая в коре ее мозга.

Полученные результаты вызвали большой переполох в нейробиологическом сообществе. Оказалось, что карта тела с годами претерпела изменения. То, что от легкого прикосновения к обездвиженной из-за перерезанных нервов конечности животного больше не активировался соответствующий участок коры, сюрпризом не стало: этого и следовало ожидать. Ученых поразило другое: крошечный участок коры, прежде отвечавший за руку, теперь возбуждался в ответ на прикосновение к мордочке³⁷. Иными словами, карта тела перестроилась. Гомункулус все еще выглядел как обезьянка, но обезьянка без правой лапы.

Открытие исключило всякую возможность, что отображаемая в мозге карта тела задана генетически. Напротив, выяснилось, что все обстоит намного любопытнее: карта тела в мозге гибко определялась активными входными сигналами от тела. Когда структура тела меняется, соответственно меняется и кортикальный гомункулус.

В том же году нейробиологи провели аналогичные исследования по мозговому картированию других обезьян из Сильвер-Спринг. В каждом случае обнаружилась значительная перестройка соматосенсорной коры: оказалось, что ее участки, ответственные за «отключенные» конечности, перехвачены прилежащими участками, и гомункулус каждой обезьянки перестроился под новый план ее тела³⁸.

Какие ощущения возникают, когда мозг подобным образом сам себя реорганизует? К сожалению, обезьяны не могут рассказать об этом. Зато могут люди.

Вице-адмирал Горацио Нельсон и посмертная жизнь его правой руки

Командующий британским флотом вице-адмирал Горацио Нельсон (1758–1805), прославленный герой нации, вознесен на пьедестал, с высоты которого взирает на Трафальгарскую площадь³⁹. Величественная статуя на коринфской колонне высотой 46 м – дань признанию его заслуг как вдохновенного человеческого военачальника, искусного тактика и гения военной изобретательности. Перечисленные качества помогли Нельсону одержать немало решающих побед на морях и океанах от обеих Америк до Нила и Копенгагена. Он героически пал в решающем морском сражении при мысе Трафальгар, которое стало одной из величайших в истории Великобритании морских побед.

Вдобавок к военно-морским подвигам вице-адмирал Нельсон в некотором роде помог нейробиологии. Правда, исключительно волей прихотливого случая. Его пути пересеклись с нейробиологией при штурме гавани Санта-Крус-де-Тенерифе. За час до полуночи 24 июля 1797 года пуля вылетела из ствола испанского мушкета с начальной скоростью около 305 м/с и завершила стремительный полет в правой руке Нельсона, раздробив кость. Пасынок адмирала туго перетянул рану шарфом, чтобы остановить хлеставшую кровь, а гребцы шлюпки (Нель-

³⁷ Pons TP et al. (1991). Massive cortical reorganization after sensory deafferentation in adult macaques, *Science* 252: 1857–1860; Merzenich M (1998). Long-term change of mind, *Science* 282 (5391): 1062–1063; Jones EG, Pons TP (1998). Thalamic and brainstem contributions to large-scale plasticity of primate somatosensory cortex, *Science* 282 (5391): 1121–1125; Merzenich M et al. (1984). Somatosensory cortical map changes following digit amputation in adult monkeys, *J Comp Neurol* 224: 591–605.

³⁸ Помимо коры значительную реорганизацию претерпели и другие области головного мозга, в том числе таламус и стволовой отдел; к этим темам мы еще вернемся.

³⁹ Knight R (2005). *The Pursuit of victory: the life and achievement of Horatio Nelson* (New York: Basic Books).

сон лично возглавлял вылазку в гавань) налегли на весла, чтобы поскорее доставить раненого на флагманский корабль, где в страшном беспокойстве его поджидал врач. После быстрого медицинского осмотра врач с облегчением сообщил, что у Нельсона хорошие шансы выжить, однако следом шла плохая новость: ввиду риска гангрены руку следовало ампутировать. Сказано – сделано. Нельсону тут же провели операцию, отхватив часть руки выше локтя, а ампутированная конечность последовала за борт.

В следующие недели Нельсон учился обходиться без правой руки – во время еды, умывания и даже стрельбы. Он даже стал в шутку называть культю «мой плавник».

По прошествии нескольких месяцев Нельсон вдруг стал замечать за собой некую странность. Адмирал чувствовал – в буквальном смысле *чувствовал*, – что у него по-прежнему есть правая рука. Он испытывал ощущения, как будто идущие от ампутированной конечности. И мог поклясться, что чувствует, как сжимает отсутствующую правую руку в кулак и ногти отсутствующих пальцев больно вонзаются в отсутствующую правую ладонь (рис. 3.2).



Рис. 3.2. В музеях Британии во множестве представлены живописные и скульптурные изображения адмирала Горацио Нельсона, но мало кто из посетителей замечает, что у героя нет правой руки. После ампутации в 1797 году у Нельсона наблюдался один из первых случаев фантомной чувствительности ампутированной конечности, что навело его на любопытную, хотя и ошибочную метафизическую интерпретацию сего необычного явления

Нельсон истолковал неведомо откуда взявшуюся чувствительность фантомной руки в оптимистическом духе: он считал, будто обладает неопровержимым доказательством, что жизнь есть и после смерти. В самом деле, если правая рука, которой у него нет, способна вызывать явственное ощущение своего присутствия – как вечный призрак самой себя, – так же должно ощущаться и отсутствующее тело.

Горацио Нельсон не единственный испытывал эти странные ощущения. Спустя годы доктор Сайлас Уир Митчелл по другую сторону Атлантики фиксировал в одном из госпиталей Филадельфии точно такие же фантомные ощущения у многих раненых, лишившихся конечностей на полях Гражданской войны. Его сильно интриговал тот факт, что многие раненые прямо-таки настаивали, что чувствуют свои ампутированные конечности, как будто те по-прежнему на месте⁴⁰. Служило ли это подтверждением идеи Нельсона о телесном бессмертии?

Как потом выяснилось, адмирал слегка поспешил с выводами. Мозг перестраивал карту его тела под его новый план в точности так же, как это происходило у обезьянок из Сильвер-Спринг. Со временем нейробиологи по примеру историков, которые десятилетиями наблюдали, как раздвигаются границы Британской империи, научились отслеживать сдвиги границ в человеческом мозге⁴¹.

При современных технологиях визуализации можно видеть, что, когда человеку ампутируют кисть руки, территорию ее кортикального представительства забирают соседние представительства. В этом случае, как показано на рис. 3.3, с кортикальными представительствами кисти и предплечья соседствуют те, что отвечают за плечо и лицо. Как и в случае с обезьянами, кортикальные карты преобразуются, чтобы отобразить изменения в плане тела.

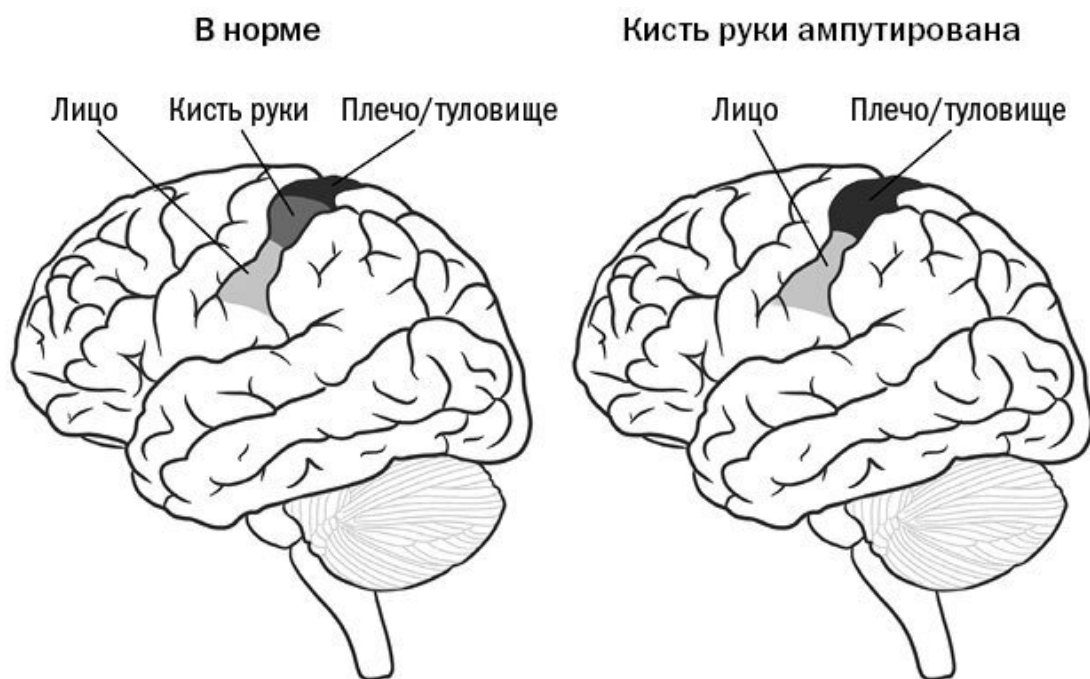


Рис. 3.3. Мозг редактирует отображаемый им план тела. Когда человеку ампутируют кисть, прилегающие кортикальные проекции узурпируют освободившуюся территорию, которая ранее принадлежала кисти

⁴⁰ Mitchell SW (1872). Injuries of nerves and their consequences (Philadelphia: Lippincott).

⁴¹ Все началось с магнитоэнцефалографии (МЭГ), которая открыла возможность измерять и визуализировать магнитные поля, создаваемые электрической активностью мозга; вскоре удалось перейти к функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ). Подробнее обзор методов функциональной визуализации см. Eagleman DM, Downar J (2015). Brain and behavior (New York: Oxford University Press).

Печатается с разрешения автора

Но во всем этом сокрыта еще одна тайна. Почему Нельсон продолжал чувствовать руку, когда ее уже не было, и почему, случись вам в те времена прикоснуться к его лицу, он уверял бы вас, что его фантомная рука ощущает ваше прикосновение? Как же так? Разве соседние участки не забрали и не поделили между собой кортикальное представительство ампутированной руки? Дело в том, что прикосновение к руке представлено не только клетками соматосенсорной коры, но и теми, которым они «спускают» сигналы вдоль нисходящей цепочки, и теми, что расположены еще ниже по цепочке и получают сигналы от предыдущих.

Хотя в первичной соматосенсорной коре карта тела быстро модифицируется под его новое строение, в нижележащих областях она меняется все меньше и меньше. У родившегося без руки ребенка карта будет выглядеть совершенно иначе, но у взрослого человека, например у того же Нельсона, система не настолько гибка, чтобы полностью перестроиться. В глубинах его мозга нейроны, расположенные ниже соматосенсорной коры, не могли в такой же степени поменять свои связи и потому продолжали пребывать в уверенности, что любая передаваемая им активность все еще вызвана прикосновением к руке. В итоге Нельсон чувствовал призрачное присутствие отсутствующей руки⁴².

* * *

Случаи обезьянок из Сильвер-Спринг, адмирала Нельсона и ветеранов Гражданской войны в США свидетельствуют об одном и том же явлении: когда поток входных сигналов внезапно обрывается, сенсорные корковые поля не остаются бесхозными; напротив, соседи немедленно занимают их⁴³. Тысячи исследований, проводимых сегодня методами сканирования мозга пациентов с ампутированными конечностями, показывают, насколько отличается мозговая ткань от хардвера – аппаратных средств с жестко заданной схемой – тем, что умеет динамично перераспределяться.

Притом что ампутация приводит к кардинальной реорганизации кортикальной ткани, конфигурация мозга способна меняться и в ответ на менее значительные видоизменения в теле. Например, если мне придется затянуть у вас на предплечье манжетку для измерения давления, ваш мозг подстроится под слегка ослабшие входные сигналы от руки тем, что выделит меньшую площадь для этой части тела⁴⁴. То же самое произойдет в мозге, если обслуживающие вашу руку нервы будут надолго заблокированы действием анестезии. И если вы просто свяжете два соседних пальца на руке – так, что вы сможете действовать ими только как единым целым, – их прежде отдельные кортикальные представительства в конце концов сольются в целостную структуру⁴⁵.

⁴² Фантомные боли свидетельствуют о том, что, когда мозг перерисовывает свои карты, изменения отображаются на них не во всей полноте: хотя нейроны, прежде отвечавшие за кисть руки, стали отвечать за лицо, нейроны нижележащих слоев все еще «думают», что получают информацию от кисти. В результате подобной путаницы индивид после ампутации обычно ощущает боли в фантомной конечности. В целом вследствие кортикальных изменений большего масштаба он испытывает более сильные фантомные боли. См. Flor et al. (1995). Phantom-limb pain as a perceptual correlate of cortical reorganization following arm amputation, *Nature* 375 (6531): 482–484; Karl A et al. (2001). Reorganization of motor and somatosensory cortex in upper extremity amputees with phantom limb pain, *J Neurosci* 21: 3609–3618. Выяснив, что различные области мозга трансформируются с различной скоростью, мы сумеем лучше разобраться с фантомными болями.

⁴³ Singh AK et al. (2018). Why does the cortex reorganize after sensory loss? *Trends Cogn Sci* 22 (7): 569–582; Ramachandran VS et al. (1992). Perceptual correlates of massive cortical reorganization, *Science* 258: 1159–1160; Barinaga M (1992). The brain remaps its own contours, *Science* 258: 216–218; Borsook D et al. (1998). Acute plasticity in the human somatosensory cortex following amputation, *Neuroreport* 9: 1013–1017.

⁴⁴ Weiss T et al. (2004). Rapid functional plasticity in the primary somatomotor cortex and perceptual changes after nerve block, *Eur J Neurosci* 20: 3413–3423.

⁴⁵ Clark SA et al. (1988). Receptive-fields in the body-surface map in adult cortex defined by temporally correlated inputs, *Nature*

Но тогда каким образом мозг, обреченный торчать на высоком насесте в полной тьме, исхитряется непрерывно отслеживать форму тела и любые перемены, происходящие с ней?

Тайминг решает все

Представьте, что вы рассматриваете окрестности с высоты птичьего полета. Вы заметите, что одни собачники обычно выгуливают своих питомцев в шесть утра, другие выходят на прогулку не раньше девяти, третьи выводят своих любимцев на улицу после полудня. Ну а некоторые предпочитают прогулки под покровом ночи. Если вы какое-то время понаблюдаете за ходом жизни в вашей округе, то увидите, что собачники, выбирающие для выгула одно и то же время, обычно знакомы, раскланиваются друг с другом, останавливаются поболтать, а то и ходят друг к другу в гости на барбекю. Совпадение во времени ведет к дружбе.

То же самое происходит и у нейронов. В состоянии возбуждения они проводят лишь крохотную толику времени, когда посылают короткие электрические импульсы (их еще называют спайками). Время их возникновения критически важно. Присмотримся к отдельно взятому типичному нейрону. Он пытается установить контакт с десятком тысяч соседей, но не формирует одинаково прочные связи со всеми ними. Прочность связей зависит от времени. Если нейрон выдал импульс, а сразу следом импульс выдает связанный с ним нейрон, то контакт между ними усиливается. Это правило, известное как правило Хебба⁴⁶, можно кратко обобщить так: нейроны, которые возбуждаются вместе, соединяются вместе (см. также [главу 10](#))⁴⁷. В тканях мозга новорожденного нервы, ведущие от тела к мозгу, активно разветвляются. Однако постоянные связи формируются только между нейронами, чьи импульсы очень близки по времени. В силу синхронности контакты между ними укрепляются. Правда, нейроны не ходят друг к другу на барбекю, а вместо этого выделяют больше нейромедиаторов или создают больше рецепторов для их получения, что усиливает связь между ними.

Каким же образом этот нехитрый прием приводит к образованию карты тела? Задумавшись, что происходит, когда вы физически взаимодействуете с объектами окружающего мира, например натываетесь на них, трогаете, прижимаете к себе, ударяете, хлопываете. Так, когда вы берете кружку с кофе, соответствующие участки кожи на ваших пальцах обязательно активируются, и притом одновременно. Так же активируются участки кожи на ступнях, когда вы надеваете обувь, и тоже одновременно. А вот противоположный пример: прикосновения к безымянному пальцу руки и к мизинцу ноги не могут похвастаться частой синхронностью, потому что в жизни редко возникают ситуации, в которых они активировались бы в одно и то же время. Та же логика распространяется на все тело: прилежащие участки чаще активируются более синхронно, чем участки не соседствующие. После взаимодействия с миром между участками кожи, которые активируются одновременно, возникает связь, а те, чья активность не сопрягается по времени, как правило, остаются не связанными друг с другом. Вследствие многолетних коактиваций вырисовывается атлас прилежащих участков, это и есть топографическая карта тела. Иными словами, карта тела содержится в мозге благодаря простому правилу, которое диктует отдельно взятым мозговым клеткам, как им образовывать связи между собой:

332: 444–445.

⁴⁶ Дональд Хебб (1904–1985) – канадский физиолог и нейропсихолог. Известен работами, приведшими к пониманию значения нейронов для процесса обучения. Его также называют одним из создателей теории искусственных нейронных сетей. *Прим. ред.*

⁴⁷ Правило Хебба было предложено в 1949 году. Hebb DO (1949). The organization of behavior (New York: Wiley & Sons). Часто оно оказывается немного сложнее: если нейрон А срабатывает непосредственно перед нейроном В, то связь между ними усиливается; если А срабатывает сразу после В, – ослабляется. Это явление известно как пластичность, зависящая от времени всплеска.

нейроны, чья активность близка по времени, склонны устанавливать и поддерживать взаимные связи. Таким путем в вечной темноте мозга проступает карта тела⁴⁸.

А почему карта меняется с изменением входных сигналов?

Колонизация в режиме нон-стоп

В начале XVII века Франция развернула колонизацию Северной Америки. Каким образом? К берегам новой земли отправлялись суда, под завязку набитые французскими переселенцами. Такая практика оказалась действенной: переселенцы осваивали и обживали новые территории. В 1609 году французы основали факторию для скупки мехов у местного населения. Со временем поселение выросло в город Квебек, которому судьба уготовила стать столицей Новой Франции. Через четверть века французы распространили колонизацию на Висконсин. Потоки все новых и новых французских переселенцев пересекали Атлантику. Новая Франция расширялась.

Однако удерживать колонизованную территорию оказалось не так-то просто. Франция сталкивалась с неослабной конкуренцией со стороны других великих держав, главным образом Великобритании и Испании, которые тоже посылали в Новый Свет суда с переселенцами. С какого-то момента французский король Людовик XIV начал интуитивно постигать важный урок: если он желает прочно закрепить Новую Францию как заморское владение французской короны, следует непрерывно отправлять за океан французские суда, потому что британцы посылали через Атлантику еще больше судов. Кроме того, чутье подсказало Людовику, что население Квебека растет медленно из-за недостатка женщин, и он отправил в колонию 850 девушек на выданье («королевских невест», как их называли), чтобы стимулировать умножение местного французского населения. Замысел короля дал свои плоды: к 1674 году население Новой Франции выросло до 7 тысяч человек, а к 1689 году достигло 15 тысяч (рис. 3.4).

⁴⁸ Есть также генетические причины, влияющие на формирование карты тела; например, расположение головы на одном конце карты, а ступней на другом зависит от того, каким образом нервные волокна прикрепляются к телу.

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.