



Можно ли жить
без мозга?



Нажми на кнопку —
получишь результат



Башни-излучатели:
ожидание и реальность



Улитки, котята
и NMDA-рецептор



Как вмешаться
в чужую память?



Самостоятельное плетение
нейронных сетей

Ася Казанцева Мозг материален

*О пользе томографа, транскраниального
стимулятора и клеток улитки
для понимания человеческого поведения*

CoRpus



Сборка реальности
из материалов заказчика



Внутренний конфликт —
основа принятия решений



Личность как уравнение
со многими переменными

Новая книга автора бестселлеров
"КТО БЫ МОГ ПОДУМАТЬ!"
и "В ИНТЕРНЕТЕ КТО-ТО НЕПРАВ!"
лауреата премии "ПРОСВЕТИТЕЛЬ"



ЭВОЛЮЦИЯ

Ася Казанцева

Мозг материален

«Corpus (АСТ)»

2019

УДК 159.9
ББК 28.70

Казанцева А.

Мозг материален / А. Казанцева — «Corpus (ACT)», 2019

ISBN 978-5-17-114664-1

Ася Казанцева – известный научный журналист, популяризатор науки, лауреат премии “Просветитель” (2014). Ее третья книга посвящена строению и работе мозга, связям нейробиологии и психологии, “описанию разных экспериментов, старинных и современных, которые в совокупности формируют представление о том, что мозг познаваем”. Автор, как всегда, ссылается на серьезные научные источники и в своем фирменном стиле старается донести до широкого круга читателей главные идеи: мозг – “наш главный рабочий инструмент” – материален, изменчив и неоднороден, “и осознание этих его свойств полезно в повседневной жизни”.

УДК 159.9

ББК 28.70

ISBN 978-5-17-114664-1

© Казанцева А., 2019

© Corpus (ACT), 2019

Содержание

Предисловие	7
Часть I	17
Глава 1	17
Говорящий мозг	21
Все отрезать и посмотреть, что будет	25
Человек, которому ничего не надоедало	28
Как перестать бояться	33
Статус: все сложно	35
Глава 2	39
Несбывшаяся антиутопия	40
Люди-киборги	44
Царь зверей	50
Глава 3	55
Что происходит?	58
Конец ознакомительного фрагмента.	59

Ася Казанцева
Мозг материален

***О пользе томографа, транскраниального
стимулятора и клеток улитки для
понимания человеческого поведения***

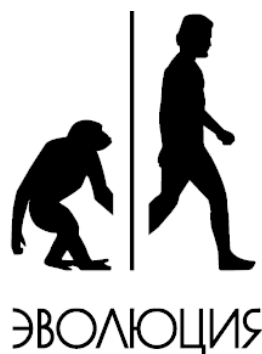
© А. Казанцева, 2019

© О. Навальный, иллюстрации, 2019

© А. Бондаренко, художественное оформление, макет, 2019

© ООО «Издательство АСТ», 2019

* * *



Просветительский фонд “Эволюция”

основан в 2015 году сообществом
российских просветителей.

Цель фонда — популяризация научного
мировоззрения, продвижение здравомыслия
и гуманистических ценностей,
развитие науки и образования.

Одно из направлений работы фонда —
поддержка издания научно-популярных книг.
Каждая книга, выпущенная при содействии
фонда “Эволюция”, тщательно
отбирается серьезными учеными.

Критерии отбора — научность содержания,
увлекательность формы
и значимость для общества.

Фонд сопровождает весь процесс создания
книги — от выбора до выхода из печати.
Поэтому каждое издание библиотеки фонда —
праздник для любителей
научно-популярной литературы.

Предисловие

“– Там была Эмбер. Она ехала со мной в автобусе. Это она умирает”. Сериал “Доктор Хаус”, четвертый сезон, эпизоды 15 и 16. Главный герой попадает в автомобильную аварию вместе с кем-то, у кого прямо перед катастрофой проявился важный симптом. Но травма головы вызвала у Хауса ретроградную амнезию, и он не может восстановить ход событий, предшествовавших столкновению. В течение двух серий он применяет множество экзотических и рискованных методов воздействия на собственный мозг, чтобы добраться до ускользающих воспоминаний. Оказывается, с ним вместе ехала Эмбер, возлюбленная его коллеги и друга. Но Хаус по-прежнему не способен вспомнить, что за симптом он у нее видел. Ему приходится применить глубокую стимуляцию мозга, и тогда события, предшествовавшие аварии, наконец встают перед ним с кинематографической точностью.

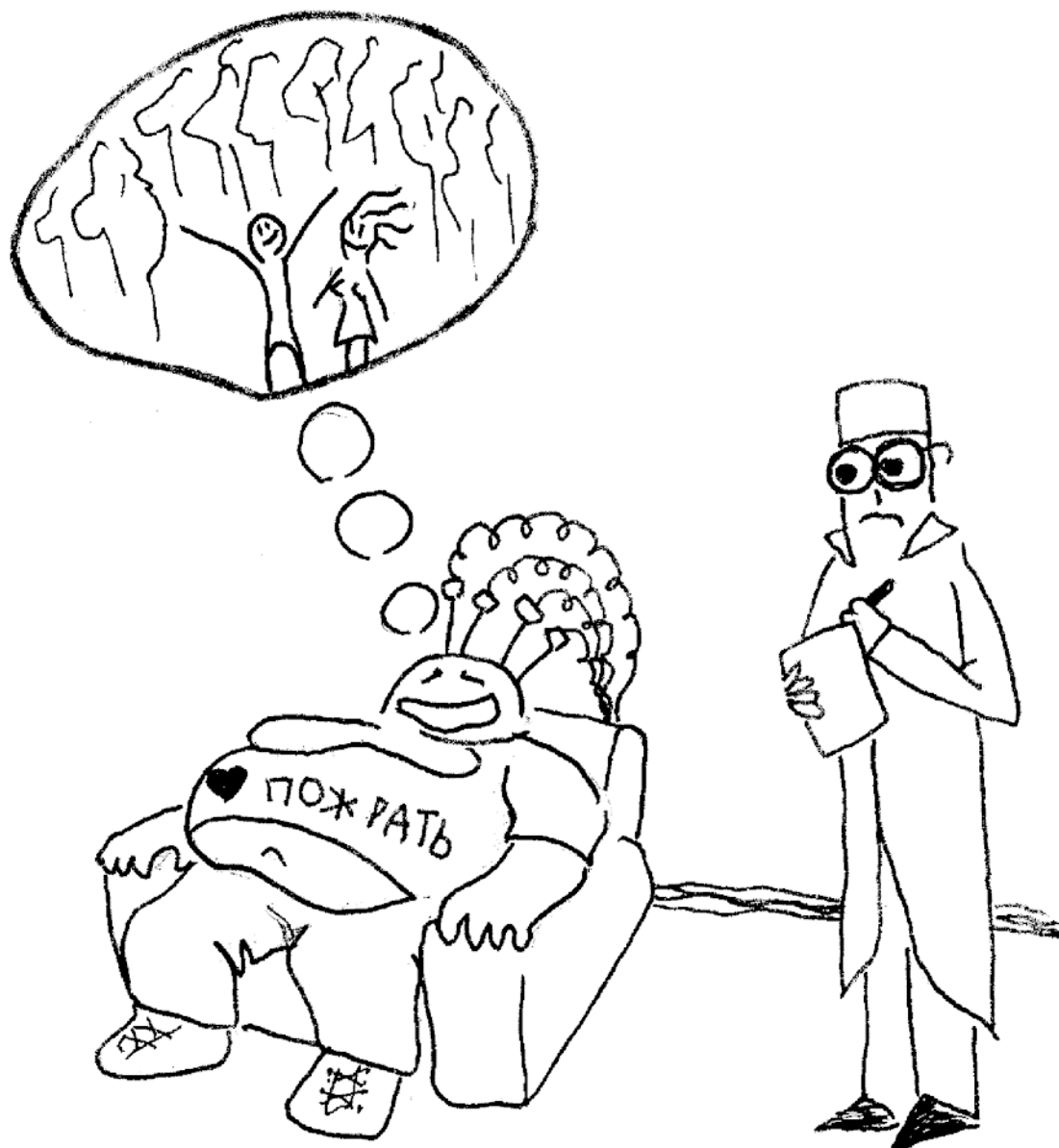
Конечно, это сериал. В кино бывает множество натяжек и неточностей. В частности, когда коллеги Хауса готовятся ввести электрод ему в мозг, чтобы пробудить воспоминания, звучит название зоны, на которую они собираются воздействовать: вентральный гипоталамус. Это очень странно. Если вы поймаете какого-нибудь нейробиолога и спросите его, какие отделы мозга связаны с памятью, то, вероятнее всего, первым ответом будет “гиппокамп”. Если потребуете продолжения – вам расскажут отдельно про зубчатую извилину, про парагиппокампальную извилину, про энторинальную кору. Поговорят о рабочей памяти и роли дорсолатеральной префронтальной коры в контроле за ней. Подумав, добавят эмоциональную память и расскажут вам, как амигдала¹ запоминает, чего надо бояться, а чего не надо. Потом вспомнят моторную память и вдохновенно прочитают вам мини-лекцию о мозжечке. Но вот гипоталамус в этом перечне, вероятнее всего, упомянут не будет. Во всяком случае, точно не в первой десятке.

Не могли же сценаристы просто перепутать гипоталамус с гиппокампом? Этот вопрос интенсивно обсуждается на англоязычных форумах фанатов сериала. Им удалось найти научную статью², в которой описан случай одного-единственного пациента, получавшего стимуляцию гипоталамуса с целью лечения тяжелого ожирения (что как раз логично: этот отдел мозга связан с регуляцией голода и насыщения) и при этом отметившего, что электрические импульсы пробуждают у него автобиографические воспоминания, причем увеличение интенсивности стимуляции делало эти воспоминания более яркими – точно как в сериале. Но и сами авторы исследования подчеркивают, что этот результат был для них неожиданным и обусловлен, по всей видимости, распространением возбуждения от гипоталамуса на соседние области мозга, действительно связанные с памятью.

Есть и более серьезная проблема. Пациент, получавший стимуляцию для лечения ожирения, вспомнил, как 30 лет назад гулял в парке с друзьями и девушкой. Совершенно случайный эпизод, вполне правдоподобный, хотя и необязательно имевший место в реальной биографии пациента. Если бы электрод попал на долю миллиметра левее или правее, человек мог бы вспомнить что-то другое: как писал контрольную по математике, или ездил в отпуск, или обедал с коллегами. Что же касается Хауса, то он сразу же, с первого введения электрода, вспомнил из всей своей длинной жизни именно те пять минут, которые были нужны сценаристам. Фантастическая удача, что и говорить!

¹ Она же – миндалина, или миндалевидное тело. В русском языке часто сосуществуют альтернативные варианты перевода для одних и тех же отделов мозга, и в основном все определяется личными предпочтениями автора.

² Hamani, C. et al. (2008). Memory enhancement induced by hypothalamic/fornix deep brain stimulation. *Annals of Neurology*, 63 (1), 119–123.



И все же главное в сериале правильно: если взять электроды, подвести их в удачное место в головном мозге и подать небольшой электрический импульс, то действительно можно вызвать у человека яркие воспоминания. Впервые этот феномен описал Уайлдер Пенфилд, знаменитый канадский нейрохирург, разработавший методику операций на головном мозге с применением местной анестезии. Его пациенты во время операций находились в сознании и были способны описывать ощущения, возникающие при стимуляции того или иного участка коры. На первый взгляд, это пугает (вы сидите со вскрытым черепом, а кто-то орудует инструментами в вашем мозге!), но преимущества были огромными. Во-первых, Пенфилд мог точно локализовать границы опухоли или эпилептического очага и вырезать только ненужное, минимально повредив остальной мозг. Во-вторых, сопоставив результаты стимуляции коры многих пациентов (электрод в одном месте – человек непроизвольно двигает рукой, в другом месте – чувствует несуществующее прикосновение к подошве), Пенфилд смог составить подробные карты коры головного мозга, определив, какая зона за что отвечает. В 1937 году Пенфилд и его соавтор Болдри впервые нарисовали “гомункулу” – смешного человечка с искаженными пропорциями, отражающими площадь представления тех или иных органов в сенсорной или моторной коре. Теперь без этой картинки не обходится ни один учебник по нейробиологии.

А в 1950-м Пенфилд и Расмуссен выпустили монографию “Кора головного мозга человека”³, обобщившую результаты 400 операций, сгруппированных по главам в соответствии с теми областями мозга, в которых производилось хирургическое вмешательство, – и теми реакциями, которые вызвала электрическая стимуляция этих областей. Пациенты, которым удаляли опухоли, кисты или эпилептические очаги в височной коре, во время операций рассказывали о ярких галлюцинациях – или о ярких воспоминаниях (иногда, впрочем, они затруднялись отличить одно от другого). Например, четырнадцатилетняя пациентка под инициалами J. V. ярко видела такую сцену: как будто бы ей семь лет, она идет через поле вместе со своими братьями, к ней сзади подходит мужчина и спрашивает: “Не хочешь залезть в этот мешок со змеями?” Девочка кричит, убегает, рассказывает об этом маме. Такую картину она видела во время самих эпилептических припадков и снова переживала ее в процессе операции, когда исследователи стимулировали ей правую височную кору в районе эпилептического очага. После того как операция была проведена, часть коры уничтожена, а эпилептические припадки остановлены, это воспоминание перестало быть навязчивым, хотя сам факт детского испуга девушка помнила. Важно, что подобное событие действительно имело место – во всяком случае, мать и братья подтверждали, что помнят какого-то придурка, приставшего к маленькой J. V. примерно так, как ей и виделось при стимуляции.

Нейробиология вообще многим обязана людям с эпилепсией и попыткам разработать методы ее лечения. Основные достижения последних десятилетий связаны с разработкой более эффективных лекарств, но они по-прежнему помогают не всем пациентам, так что иногда хирургическое вмешательство применяется и сегодня. Главная задача врачей в таких случаях – максимально точно идентифицировать нейроны, ответственные за зарождение судорожной активности, чтобы удалить именно их и по возможности оставить неповрежденными соседние клетки. Электроэнцефалограмма и томографические исследования позволяют только приблизительно определить расположение эпилептического очага, но затем на основе этой информации врачи могут выбрать участки для вживления микроэлектродов, способных записывать сигналы от отдельных клеток. Такие электроды могут оставаться в мозге пациента несколько дней, после чего, проанализировав активность нейронов, врач принимает итоговое решение о том, какой именно участок следует удалить. Эта процедура одновременно позволяет получить много ценной информации о функциях отдельных нервных клеток. Например, именно так в 2005 году были описаны⁴ знаменитые “нейроны Дженнифер Энистон”, то есть конкретные клетки в гиппокампе, которые реагируют именно на предъявление фотографии этой актрисы – в том случае, конечно, если вы знаете, как она выглядит (ее самая известная роль – Рэйчел в сериале “Друзья”).

Открытие нейронов Дженнифер Энистон было чистой случайностью – в том смысле, что ученые понятия не имели, “что” именно нейроны им удастся обнаружить, но надеялись найти хоть какие-нибудь. Они работали с группой из восьми человек, которые готовились к операции для лечения эпилепсии. У каждого из них эпилептический очаг располагался в медиальной височной доле. Эта область мозга включает в себя гиппокамп, который, в свою очередь, играет ключевую роль в работе декларативной памяти, то есть необходим для заучивания и последующего воспроизведения конкретных фактов (“Волга впадает в Каспийское море”; “Человек на фотографии мне известен, это актриса Дженнифер Энистон”). Каждому пациенту вживили микроэлектроды – для идентификации эпилептического очага, но заодно люди согласились и поучаствовать в исследовании⁵. Им показывали множество фотографий животных, предме-

³ Penfield, W. & Rasmussen, T. (1950). *The cerebral cortex of man: a clinical study of localization of function*. The Macmillan company, New York.

⁴ Quiroga, R. Q. et al. (2005). Invariant visual representation by single neurons in the human brain. *Nature*, 435, 1102–1107.

⁵ Лучше не спорить с теми, кто собирается делать вам операцию на мозге.

тов, знаменитых людей и известных достопримечательностей. Набор был немного разным для разных пациентов. (Например, мне было бы бесполезно показывать актеров: я очень плохо запоминаю человеческие лица, и поэтому большая часть отношений героев в сериалах остается для меня непонятной без дополнительных пояснений: “Ой, а разве она ему изменила? Так ведь тот чувак тоже темноволосый, это точно другой?”)

В нескольких случаях ученым серьезно повезло: электроды, вживленные по медицинским показаниям, совершенно случайно попали именно в нейроны, связанные с распознаванием как раз тех объектов, которые предъявляли испытуемым. Тогда на следующей сессии людям предъявляли разные изображения того же самого объекта и снова регистрировали ответ от того же самого нейрона. В частности, у одного из пациентов в задней части левого гиппокампа⁶ обнаружился нейрон, который реагировал вспышками активности при виде разнообразных фотографий Дженнифер Энистон и оставался безучастным во время предъявления любых других изображений; интересно, что он не откликался и на фотографии Энистон в том случае, если она была изображена не в одиночестве, а вместе с Брэдом Питтом. У другого пациента в правом переднем гиппокампе был найден “нейрон Хэлли Берри” – актрисы, сыгравшей роль Женщины-кошки в одноименном фильме. Он активировался при предъявлении разных фотографий Хэлли Берри, в том числе в костюме Женщины-кошки, при виде ее нарисованного карандашом портрета и даже при прочтении надписи *Halle Berry* – при этом не реагировал на других актрис, даже если они были одеты в такие же костюмы кошек.

Разумеется, не следует думать, что за распознавание образа Дженнифер Энистон отвечает один-единственный нейрон; у нас также недостаточно данных, чтобы предположить, что этот нейрон связан только с образом Энистон и ни с чем больше. Но это исследование иллюстрирует очень важную мысль, которая настолько банальна и очевидна, что мы никогда о ней не задумываемся: **мозг материален**. Раз мы помним лицо Энистон, это означает, что какие-то нейроны в нашем мозге взяли на себя функцию распознавания уникального набора ее характерных черт. Что эти нейроны, в принципе, возможно найти. Что на них можно воздействовать. И что это относится не только к образу Энистон, но и вообще к любой информации, которая записана в нашем мозге; к любой эмоции, которую он испытывает; к любой мысли, которую он обдумывает. Для всего того, что составляет нашу личность, существует конкретный вещественный субстрат, и он принципиально поддается изучению.

Это не означает, что нейробиологи уже способны расшифровывать наши мысли (хотя они активно работают над этим). Тем более это не означает, что они могут искусственно заливать нам в мозг какие-нибудь новые знания, не используя книжки и лекции. В этом отношении довольно серьезные успехи достигнуты с улиточками⁷, а вот с более крупными и сложными существами есть серьезная проблема: **мозг пластичен**. Функции его крупных структур более или менее прописаны в генах, а вот на уровне микроархитектуры очень многое определяется индивидуальным опытом, теми стимулами, с которыми мозг сталкивался в ходе своего развития. Нейроны Дженнифер Энистон, вероятно, есть где-нибудь в гиппокампе у всех людей, которые помнят ее лицо, но вот где они там находятся конкретно – да черт их знает. У всех по-разному.

Самый известный пример нейропластичности – структурных изменений мозга человека под действием индивидуального опыта – это история про лондонских таксистов. Для того чтобы стать лицензированным таксистом в Лондоне и водить тот самый черный кэб, в котором катается Шерлок-Камбербэтч, вы должны помнить 25 000 городских улиц и переулочков в радиусе 10 километров от вокзала Чаринг-Кросс – со всеми их особенностями дорожного

⁶ Гиппокамп, как и многие другие отделы мозга, – симметричная структура, то есть у нас их два, правый и левый. Обычно говорят просто “задний левый гиппокамп”, “правая дорсолатеральная кора” и т. п.

⁷ В любом месте, где я не даю достаточно пояснений, мысленно подставляйте фразу “мы к этому еще вернемся”. Книжка про мозг похожа на сам мозг: в ней все связано со всем.

движения, основными достопримечательностями, магазинами и гостиницами – и выстраивать маршруты между ними без навигатора. Это сложно. Таксисты учатся годами. Лондонские нейробиологи, в свою очередь, с энтузиазмом изучают, что в это время происходит с мозгом водителей⁸. Выясняется, что если набрать две группы испытуемых – тех, кто планирует стать таксистом, и тех, у кого другие планы на жизнь, – и положить их в томограф, то поначалу никаких нейроанатомических отличий между ними нет. После этого вы ждете три года и снова приглашаете этих людей в лабораторию. Выясняется, что теперь у вас уже три группы испытуемых. Те, кто хотел стать таксистом, тренировался в среднем по 34 часа в неделю и в итоге благополучно сдал экзамен. Те, кто в принципе тоже хотел стать таксистом, но тренировался в среднем по 17 часов в неделю, экзамен завалил, разочаровался и нашел другую работу. И те, кто не хотел стать таксистом и вообще не тренировался. У всех этих людей вы анализируете гиппокамп – зону мозга, связанную не только с памятью, но и с пространственным мышлением (эти две способности вообще, видимо, эволюционно развивались в тесном сотрудничестве: если задуматься, то память дикому животному или древнему человеку в первую очередь для того и нужна, чтобы найти еду и вернуться домой).

Выясняется, что у тех, кто не стал таксистом, гиппокамп остался примерно таким же, каким и был. А вот в той группе испытуемых, которая благополучно сдала экзамен, есть видимое увеличение объема серого вещества в задней трети гиппокампа. Не то чтобы гиппокамп как целое увеличился в размерах, но анализ конкретных *вокселей* (трехмерных кирпичиков, из которых складывается томограмма) показывает, что серого вещества во многих из них стало больше примерно на треть. То есть, вероятнее всего, нейроны вырастили множество новых связей друг с другом, потому что мозгу понадобилось работать над новыми задачами. Это характерно для любого обучения. Мы постоянно выстраиваем в голове новые нейронные связи. Память и обучение – это и есть рост новых синапсов.

По большому счету именно индивидуальная микроархитектура мозга, приобретенная вами в ходе жизни, на самом деле интересует вашего экзаменатора, когда он смотрит, можете ли вы взять интеграл, ваше начальство на собеседовании, когда вас спрашивают про опыт работы и профессиональные компетенции, и даже девушку на первом свидании, когда она оценивает вашу эрудицию и чувство юмора и решает, продолжать ли общение.

Здесь возникают интересные этические проблемы. Отличия в архитектуре нейронных связей делают людей разными – и неравными. Предполагается, что в таком неравенстве люди сами виноваты, и именно поэтому оно совершенно никого не беспокоит, в отличие от дискриминации по признакам, которые от воли человека очевидным образом не зависят. Если честно, это не совсем так: на способность осваивать новые знания все-таки серьезно влияют врожденные факторы (и на силу воли, кстати, тоже)⁹, и еще сильнее – неравные условия в детстве, в которых человек тоже не виноват. Примечательный парадокс здесь в том, что если мы с вами когда-нибудь построим совершенное эгалитарное общество с абсолютно равными образовательными возможностями, то именно генетические отличия в способностях выйдут на первый план и неравенство кандидатов в глазах работодателей и потенциальных половых партнеров будет в значительно большей степени, чем сейчас, объясняться как раз наследственностью. Впрочем, есть и хорошие новости: массово редактировать гены эмбрионов мы наверняка научимся раньше, чем построим эгалитарное общество. А еще, конечно, в огромной степени мы можем влиять на нашу архитектуру нейронных связей вполне осознанно, и значительная часть книжки посвящена тому, как делать это более эффективно.

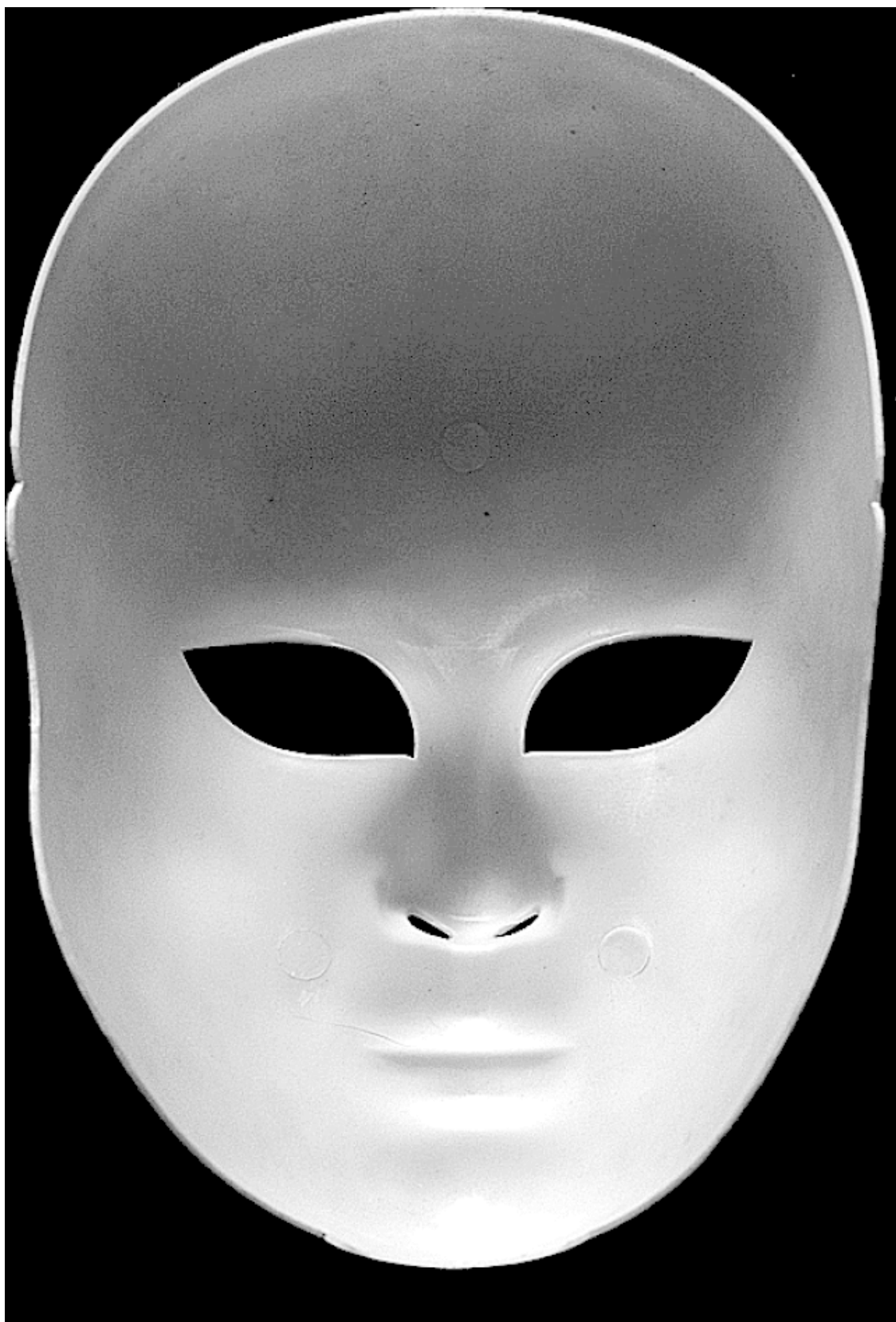
⁸ Woollett, K. & Maguire, M. (2011). Acquiring “the Knowledge” of London’s Layout Drives Structural Brain Changes. *Current Biology*, 21 (24), 2109–2114.

⁹ Если это утверждение показалось вам неочевидным, отсылаю вас к другим хорошим научно-популярным книгам: “Чистый лист” Стивена Пинкера и “Воля и самоконтроль” Ирины Якутенко.

Третье важное свойство, которое меня занимает и о котором я буду рассказывать, можно сформулировать так: **мозг неоднороден**. Наше целостное, холистическое восприятие собственной личности – это иллюзия. Если присмотреться к тому, как мозг обрабатывает информацию и принимает решения, то почти всегда обнаруживается, что это результат конкуренции между разными его отделами, просто победитель определяется так быстро, что обычно у нас нет возможности осознать, что противоречие вообще существовало.

Это проявляется на всех уровнях, начиная от самых базовых вещей. Возьмем, например, зрительное восприятие. Вот посмотрите на картинку.

Это пластиковая маска. И она вогнутая. Честное слово, мои друзья Кася и Джозеф ее сами фотографировали под моим чутким руководством. Присмотритесь: у нее нос и лоб темнее, чем все остальное, именно потому, что они уходят в глубину. Но, скорее всего, вы этого в упор не видите, а видите обычное выпуклое лицо. А если видите вогнутую маску, то вам имеет смысл поговорить об этом с психиатром. Вот прямо прийти к нему и сказать: “Доктор, я невосприимчив к иллюзии вогнутой маски. Дайте мне дополнительные тесты, чтобы убедиться, что я психически здоров”.



А вот если бы вместо маски была кастрюля или любой другой вогнутый объект, пусть даже сложной формы, то никаких проблем с восприятием у вас бы не возникло. Стоит вам закрыть ладонью нижнюю часть маски, и вы сразу увидите, что ее лоб – вогнутый. В нормальной ситуации мозг оценивает форму объекта именно по распределению света и тени: то, что

выступает вперед, должно быть более светлым (ярко освещенным), а то, что вдавлено, должно находиться в тени. Эти принципы восприятия можно использовать для маскировки (красить выступающую башню танка в более темный цвет, чтобы с самолетов противника было сложнее понять, что это танк). Их можно использовать в макияже (нарисовать светлые линии внутри морщин, чтобы они не казались глубокими). Но в случае вогнутой маски эти принципы работать перестают. Потому что вступают в противоречие с жизненным опытом. С твердым знанием о том, что нос, лоб и подбородок должны выступать вперед. Всегда.

В 2009 году Данай Дима и ее коллеги предъявляли вогнутые и обычные изображения лиц 16 здоровым людям и 13 пациентам с диагностированной шизофренией¹⁰. Все здоровые люди были подвержены иллюзии и видели вогнутое лицо как выпуклое. Все пациенты (в этой небольшой выборке) не были восприимчивы к иллюзии и видели вещи такими, какие они на самом деле. Но исследователей интересовало не само восприятие лиц, а то, что происходит в это время в мозге, – картинки показывали людям, лежащим в томографе.

А в мозге происходит примерно то же самое, что и при зрительном восприятии любых других стимулов в любых других экспериментах. Сначала активируется первичная зрительная кора. У нее нет вообще никакого мнения о том, что именно она увидела. Она просто собирает информацию о физических характеристиках стимула и бесстрастно констатирует: “Вижу такой-то набор линий, контуров, светлых и темных пятен”. Об этом она сообщает вышерасположенному отделу зрительной коры, нужному именно для распознавания объектов, – латеральному затылочному комплексу. А тот уже консультируется с высшими ассоциативными зонами мозга – несколькими участками лобной и теменной коры – о том, что бы мог значить вот такой набор контуров и теней с точки зрения той информации о мире, которую мы накопили в течение жизни. Так вот, если сравнить паттерны активации всех этих зон у здоровых людей и у людей с шизофренией во время восприятия вогнутой маски по сравнению с восприятием обычного лица (и построить хитрую математическую модель, чтобы эти паттерны интерпретировать), то выясняется, что разница между двумя группами испытуемых состоит в том, в какой степени латеральный затылочный комплекс восприимчив к тем сигналам, которые приходят к нему снизу, от первичной зрительной коры, и в какой – к тем, что приходят к нему сверху, от внутритеменной борозды и нескольких других умных и развитых отделов мозга.

То есть первичная зрительная кора говорит: “Слушай, вот у меня такое распределение света и тени”, – оно вообще-то означает, что объект вогнутый. А внутритеменная борозда говорит: “Я тут посоветовалась с коллегами, и этот объект – это точно лицо, а лицо всегда должно быть выпуклое”. А латеральный затылочный комплекс взвешивает все эти аргументы и принимает решение. И человек как целое все-таки считает, что он видит выпуклое лицо, – в том случае, если сигналы от высших отделов мозга сильны и побеждают. А если контролирующие сигналы от высших отделов мозга не очень-то сильны, то может победить зрительная кора, и человек с шизофренией в этой ситуации видит реальность такой, какая она есть на самом деле.

В принципе, почти любую зрительную иллюзию можно объяснить как результат воздействия нисходящих потоков информации в мозге. То, как мы представляем себе реальность, напрямую влияет на то, как мы ее (совершенно по-честному) видим. Помните бело-золотое платье, взорвавшее интернет в 2015 году? Теперь в англоязычной научной литературе оно так и называется: *the dress*. На самом деле оно черно-синее. Более того, целых 57 % людей действительно воспринимают его так¹¹. Мне кажется, что они сговорились и издеваются, потому что ну очевидно же, что оно бело-золотое. Но, по-видимому, все зависит от того, как человек

¹⁰ Dima, D. et al. (2009). Understanding why patients with schizophrenia do not perceive the hollow – mask illusion using dynamic causal modelling. *Neuroimage*, 46, 1180–1186.

¹¹ Lafer-Sousa, R. et al. (2015). Striking individual differences in color perception uncovered by “the dress” photograph. *Current Biology*, 25 (13), R545 – R546. Глава 1. Можно ли жить без мозга?

воспринял освещение на фотографии. Если он (как я) посчитал, что это дневной свет, а само платье при этом находится в тени, то его мозг автоматически делает на это поправку и воспринимает цвета как более светлые. Если же человеку при первом взгляде на фото показалось, что оно сделано со вспышкой и ткань освещена ярким электрическим светом, то он видит платье черно-синим. (По крайней мере, они так говорят!)

Но зрительные иллюзии – это просто пример необычного срабатывания тех механизмов, которыми мозг в повседневной жизни пользуется постоянно, которые он выработал в ходе эволюции для того, чтобы более эффективно – быстро и точно – воспринимать реальность. Да, мозг сопоставляет новую зрительную информацию с накопленной библиотекой образов, и это позволяет ему гораздо быстрее распознавать важные для выживания объекты (к которым, безусловно, относятся лица) даже в условиях ограниченной видимости. Да, мозг делает поправку на освещенность, и это тоже позволяет ему гораздо точнее узнавать объекты, несмотря на то что в тени и на ярком свете они выглядят по-разному. И в принципе, вот этот процесс анализа информации, поступающей от разных отделов мозга, – это ключевой компонент не только распознавания образов, но и вообще принятия любых решений.

Мозг – это система для сопоставления противоречивых сигналов. У него много отделов, и все хотят разного. Амигдала отслеживает, не происходит ли чего-нибудь опасного. Прилежащее ядро смотрит, нет ли чего-нибудь хорошего. Гипоталамус контролирует химический состав крови. Лобная кора занимается своими делами, например пишет книжку, игнорируя при этом сигналы от подкорковых центров – пока они слабые. Но если вдруг на мой стол неожиданно выбежит паук, амигдала немедленно начнет посылать нервные импульсы с высокой частотой и заставит меня отвлечься от книжки, чтобы оценить, насколько этот паук опасен и что с ним делать. Прилежащее ядро почти не мешает мне работать, пока нет сверхсильных соблазнов, но если вдруг мне позвонит один прекрасный мальчик (ну ладно, даже не один, я могу перечислить трех, с которыми это сработает) и позовет гулять, то прилежащее ядро быстро и популярно объяснит лобной коре, что это значительно важнее, чем книжка. Гипоталамус победит кору в тот момент, когда у меня в крови упадет уровень глюкозы, – тогда я перестану работать и пойду искать себе еду. Это, конечно, гипотетические примеры, но на более простых моделях все это можно изучать (и изучают) в томографе. Есть целая наука, которая называется “нейробиология принятия решений”, и она в очень большой степени посвящена именно тому, как разные отделы мозга физически, за счет частоты импульсов, соревнуются друг с другом и победитель получает всё.

Эта книга посвящена описанию разных экспериментов, старинных и современных, которые в совокупности формируют представление о том, что мозг познаваем. Что в нем есть конкретные нейронные сети, отвечающие за конкретные функции, и их возможно находить, изучать, воздействовать на них. Что эти нейронные сети могут изменяться в течение жизни под влиянием опыта и этот процесс мы способны до некоторой степени контролировать. Что, с другой стороны, этих сетей очень много и большую часть их работы мы заведомо не осознаем, а вот на наши стремления и выборы они при этом вполне себе влияют.

Здесь приличествует сделать необходимые оговорки о том, что мозг невероятно сложен, что в реализацию любой психической функции вовлечено множество структур, что любая структура, в свою очередь, связана со многими функциями, что нейробиология все еще далека от полного понимания всех процессов, происходящих в мозге. Но все же за последние десятилетия она невероятно продвинулась на этом пути. Количество данных растет лавинообразно, граница между психологией и нейробиологией становится все более размытой (в последнее время их так и называют совместно, “когнитивные науки”, причисляя туда же проблемы искусственного интеллекта и некоторые направления лингвистики, антропологии и философии), и за этим процессом ужасно интересно наблюдать. Дело не только в чистой любви к абстрактному знанию, и даже не только в медицинских и технологических прорывах, связанных с раз-

витиём когнитивных наук. В повседневной жизни важнее другое: **мозг – это наш главный рабочий инструмент**. Любые наши успехи и неудачи, в общем-то, сводятся к тому, насколько эффективно мы умеем им пользоваться. Для того чтобы делать это более осознанно, как мне представляется, полезно понимать общие принципы его работы и основные факторы, которые на эту работу влияют.

Пять лет тому назад я написала книжку “Кто бы мог подумать! Как мозг заставляет нас делать глупости”, посвященную нашим конструктивным биологическим ограничениям, способствующим принятию иррациональных решений. После ее шумного успеха меня стали часто приглашать в разные города выступать с научно-популярными лекциями, и благодаря этой деятельности я много вижу настоящих живых читателей. Иногда они говорят: “Спасибо за книжку! Я был очень рад снять с себя ответственность за те глупости, которые я совершаю”. И теперь я пишу новую книжку ради того, чтобы эту ответственность вернуть. Мне удалось убедить довольно много людей в том, что наша психика – продукт биологической эволюции и происходящие в мозге физиологические процессы влияют на принимаемые нами решения. А теперь я собираюсь сделать следующий логический шаг и поговорить о том, что и принимаемые нами решения влияют на физиологические процессы в нашем мозге. И вообще, в принципе не существует никаких “нас” отдельно от нашего мозга. Но бессмысленно рассматривать и мозг отдельно от “нас”.

Часть I

Структуры и функции

Где хранятся страх, счастье и сила воли

Глава 1

Можно ли жить без мозга?

Современная нейробиология началась со взрыва при прокладке железнодорожных путей.

Это был тест на вашу осведомленность. Если вы сразу подумали: “Господи, опять Финеас Гейдж, какая банальность, сколько можно!” – то я прошу у вас прощения. Все знакомые биологи и психологи уверяли меня, что ни в коем случае не следует включать этот эпизод в книжку и тем более с него начинать, но что же я могу сделать, если современная нейробиология *действительно* началась со взрыва при прокладке железнодорожных путей?

Дело было 170 лет назад, 13 сентября 1848 года, в нескольких километрах к югу от города Кавендиш, штат Вермонт. В этом городе сегодня живет 1300 человек, а двое самых известных жителей за всю его историю – это Александр Солженицын и вот еще Финеас Гейдж. Ему было 25 лет, он был бригадиром, и в его обязанности входила организация взрывных работ, необходимых, чтобы разрушать скалы и прокладывать рельсы на расчищенных участках. Чтобы взорвать скалу, в XIX веке нужно было просверлить в ней глубокое отверстие, насыпать туда пороха, протянуть фитиль, поместить поверх пороха инертный материал (например, песок), а потом аккуратно поджечь фитиль и отбежать на безопасное расстояние. Но в тот злополучный день все пошло не по плану. Финеас Гейдж контролировал качество закладки пороха, утрамбовывая его с помощью длинного железного стержня. Коллега отвлек его разговором, Гейдж обернулся через правое плечо и в тот же момент случайно высек искру. Порох взорвался, и стержень, подобно пушечному ядру, взлетел в воздух, вошел в голову Гейджа под левым глазом и вышел через макушку, отломив кусок черепного свода и оставив выходное отверстие размером 2 на 3,5 дюйма (примерно 5 на 9 см).



Как ни странно, Финеас Гейдж выжил. Он даже разговаривал через несколько минут после травмы. Коллега отнес его к повозке, запряженной волом, и там Гейдж сидел прямо всю дорогу до ближайшей гостиницы, а затем самостоятельно, с небольшой поддержкой коллеги, выбрался из повозки и дошел по лестнице до кровати. Доктор Джон Харлоу, описав-

ший этот случай^{12, 13}, застал пациента в сознании, мужественным и стойким, способным внятно объяснить, что произошло. Гейдж даже надеялся вернуться к работе через пару дней. Этого, конечно, не случилось, следующие несколько недель Гейдж в основном метался в лихорадке, его рвало, ткани гноились, он бредил, к травме добавилась грибковая инфекция, охватившая и ткани мозга, и левый глаз. В конце октября физическое состояние пациента улучшилось, но врач осторожно отмечает: *very childish* – “очень инфантильный”. Гейдж капризничал и требовал немедленно доставить его в родной город Лебанон (в соседнем штате Нью-Гэмпшир, в 30 милях от Кавендиша). 15 ноября выяснилось, что в отсутствие врача Гейдж несколько раз вставал и выходил гулять, причем отказывался надевать куртку, хотя было холодно, и друзья не могли ничего с ним поделать. 25 ноября коллеги организовали перевозку Финеаса Гейджа в Лебанон; доктор Харлоу навещал его там и наблюдал за выздоровлением. Уже в апреле Финеас Гейдж вернулся в Кавендиш, и доктор Харлоу заключил, что физически он здоров. Конечно, у Гейджа был шрам на щеке, вмятина на черепе, он больше ничего не видел левым глазом, и у него была частично нарушена подвижность мышц левой половины лица, но, учитывая тяжесть травмы, он фантастически дешево отделался. Однако жизнь его изменилась. Было непонятно, чем он теперь будет заниматься. Вот как описывает ситуацию доктор Харлоу:

Коллеги Гейджа, считавшие его самым работающим и толковым мастером, пока он не получил увечье, полагают, что изменения в его разуме слишком заметны, чтобы он мог вновь занять свое место. Утрачено равновесие между его умственными способностями и животными порывами. Он вспыльчив, непочтителен, временами предается грязнейшему сквернословию (к чему прежде склонности не имел). <...> До травмы Гейдж, хотя и не получил образования, обладал уравновешенным умом, и те, кто его знал, считали его проницательным, разумным деловым человеком, энергичным и настойчивым в осуществлении своих планов. В этом отношении разум его разительно изменился, а потому его друзья и знакомые решительно говорят: “Это больше не Гейдж”.

Действительно, к работе бригадиром Финеас Гейдж так и не вернулся. Он много путешествовал, сменил несколько рабочих мест, дольше всего работал в Чили кучером почтового дилижанса, запряженного шестеркой лошадей. В какой-то степени интеллектуальное состояние Гейджа с годами улучшилось, у него не было проблем с поиском работы, однако, по отзывам родственников, он по-прежнему был импульсивен и ни одно занятие не устраивало его полностью. Через 12 лет после травмы Гейдж начал страдать от эпилептических припадков и 21 мая 1861 года умер. По другим данным, это случилось в мае 1860-го. В любом случае врачи, лечившие его после травмы, узнали о смерти несколько лет спустя, так что у них совершенно не было возможности ни проанализировать ее причины, ни попросить о возможности вскрытия и исследования мозга. Все, чем родственники смогли помочь доктору Харлоу, когда он все-таки их нашел, – разрешили эксгумировать тело и забрать череп. Теперь самый известный в мире череп хранится в анатомическом музее Гарвардской медицинской школы – вместе с пробившим его железным стержнем¹⁴.

Исследователи часто обращаются к случаю Финеаса Гейджа, вновь и вновь анализируя как свидетельства современников, так и череп пострадавшего – с привлечением новых иссле-

¹² Harlow, J. M. (1848). Passage of an Iron Rod Through the Head. Reprinted in *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 1999, 11 (2), 281–283.

¹³ Harlow, J. M. (1868). Recovery from the passage of an iron bar through the head. Reprinted in *History of Psychiatry*, 1993, 4, 274.

¹⁴ Финеас Гейдж при жизни сам отдал стержень в музей, но вскоре передумал и забрал его обратно. Их можно видеть вместе на сохранившихся фотографиях, а некоторые источники даже указывают, что Финеас и его стержень были похоронены вместе и вместе же эксгумированы впоследствии.

довательских методов и актуальных данных об анатомии мозга и функциональной роли его отдельных частей. В 1994 году работу, посвященную Гейджу, опубликовал¹⁵ Антонио Дамасио, один из самых известных нейробиологов, изучающих взаимосвязи между структурами и функциями мозга. Дамасио и его коллеги проанализировали рентгеновские снимки черепа Гейджа, предложили семь возможных траекторий, по которым стержень мог пройти сквозь мозг (диаметр самого стержня составлял 3 сантиметра, а выходное отверстие в черепе из-за отломившегося куска кости получилось значительно крупнее, так что возможны варианты), и посчитали самой вероятной траекторией такую, которая предполагала, что движение стержня разрушило крупные участки лобной коры не только в левом, но и в правом полушарии. С этим решительно не согласен Петер Рациу, выпустивший¹⁶ в 2004 году работу, основанную на трехмерной компьютерной томографии черепа Гейджа. Он отмечает, что если бы стержень действительно прошел с таким смещением вправо, как утверждал Дамасио, то он не мог бы не пробить верхний сагиттальный синус – полость между листками твердой мозговой оболочки, заполненную венозной кровью, – а это привело бы к кровопотере, абсолютно точно несовместимой с жизнью. Соответственно, Рациу полагает, что была повреждена только префронтальная кора, самая передняя часть лобной доли, и только в левом полушарии (а не множество разных зон, на которые указывал Дамасио). Наконец, в 2012 году Джон Даррел ван Хорн сопоставил¹⁷ томографические снимки, полученные Рациу, с современными усредненными данными о границах разных отделов мозга и распределении проводящих путей в нем и пришел к оценке, промежуточной между двумя крайностями: пострадало только левое полушарие, но более серьезно, чем полагал Рациу.

Почему современные ученые тратят столько времени и сил на обсуждение травмы мозга человека, умершего полтора с лишним века назад? Потому что в 1848 году он выжил, что само по себе было невероятно. А еще потому, что его личность изменилась после травмы и это был не только первый задокументированный случай, указывающий на то, что лобная кора важна для самоконтроля и принятия решений, – но и вообще первый хорошо задокументированный случай, демонстрирующий, что мозг и личность непосредственно связаны друг с другом. А еще потому, что Финеас Гейдж прожил после травмы 12 лет и негативные изменения в его личности, описанные Харлоу через полгода после травмы, по-видимому, постепенно ослабевали в течение этого времени. Уже в августе 1849 года родственники Гейджа отмечали, что он перестал вести себя столь инфантильно, как в первые месяцы после несчастного случая. В 1858 году доктор Генри Тревитт встречал Гейджа, работавшего в то время в Чили, и отмечал, что он производит впечатление человека здорового и душевно, и физически¹⁸. В 1860 году Гейдж вернулся на родину и, по свидетельствам родственников, был полон желания работать. Возможно, если бы его здоровье не ухудшилось так резко (мы даже не можем быть уверены, что это было вызвано именно старой травмой), он еще смог бы построить блестящую карьеру взамен той, которая была прервана из-за нелепого неудачного стечения обстоятельств двенадцатью годами раньше.

Мозг материален – и мозг изменчив. И все это мы можем видеть уже на примере Финеаса Гейджа. А за 170 лет, прошедших с момента злополучного взрыва при прокладке железнодорожных путей, у исследователей накопилось, к счастью, еще множество свидетельств в пользу этих двух ключевых утверждений. И к сожалению, некоторые из них также связаны с поломанными судьбами отдельных людей.

¹⁵ Damasio, H. et al. (1994). The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. *Science*, 264 (5162), 1102–1105.

¹⁶ Ratiu, P. et al. (2004). The Tale of Phineas Gage, Digitally Remastered. *The New England Journal of Medicine*, 351: e21.

¹⁷ Van Horn, J. D. et al. (2012). Mapping Connectivity Damage in the Case of Phineas Gage. *PLOS One*, 7 (5): e37454.

¹⁸ Macmillan, M. & Lena, M. (2010). Rehabilitating Phineas Gage. *Neuropsychological Rehabilitation: An International Journal*, 20 (5), 641–658.

Говорящий мозг

Обсуждая траекторию движения железного стержня сквозь левое полушарие мозга Финейаса Гейджа, исследователи единодушны в одном: травма не затронула зону Брока, участок коры в левом полушарии на границе лобной и височной долей мозга. Если бы это произошло, Гейдж, вероятнее всего, лишился бы способности говорить¹⁹. Именно это произошло со вторым самым знаменитым пациентом XIX века, Луи Виктором Леборном. К тому моменту, когда он поступил на лечение к хирургу Полю Брока, он уже 20 лет не мог говорить ничего, кроме единственного слова «тан», но при этом его интеллект и память, по-видимому, не были нарушены²⁰. Он понимал обращенную к нему речь и мог отвечать на вопросы жестами. После смерти пациента в 1861 году Поль Брок провел вскрытие и обнаружил повреждение в задней трети нижней лобной извилины в левом полушарии – в зоне, впоследствии названной его именем. В течение жизни Брока описал еще ряд случаев, когда люди лишались способности к членораздельной речи и после их смерти оказывалось, что у них был поврежден один и тот же участок мозга. В зависимости от обстоятельств травмы речь может нарушаться в большей или меньшей степени, но главные характерные симптомы – это утрата грамматической структуры предложений и телеграфный стиль, отрывочные слова вместо плавного потока речи. Если бы мне сейчас повредили эту зону (или подавили бы ее работу с помощью транскраниальной магнитной стимуляции), то я смогла бы пересказать этот абзац примерно так: *“Травма... Брока... речь... нет”*.

В 1874 году молодой немецкий врач Карл Вернике описал еще одну зону мозга, необходимую для полноценной коммуникации между людьми²¹. Его первая пациентка, семидесятипятилетняя Сюзанна Розер, говорила бегло и свободно, но часто путала слова – и при этом не понимала обращенную к ней речь. Впрочем, в силу ее возраста близкие считали, что женщина просто оглохла. После ее смерти Вернике провел вскрытие и отметил, что из-за закупорки артерии у нее произошло размягчение участка мозговой ткани в левом полушарии, в верхней височной извилине. Впоследствии в практике Вернике появились другие пациенты с нарушенным пониманием речи – и повреждение заднего отдела верхней височной извилины, известного теперь как зона Вернике, оказалось характерным для всех. Проблемы с пониманием влияют не только на успех диалога – они отражаются и в структуре собственной речи пациента: она может быть грамматически правильной, но при этом смысл ее трудно поддается расшифровке, так как человек перескакивает с одного на другое, странно комбинирует слова, путает похожие и часто старается компенсировать вашу непонятливость повышенной эмоциональностью изложения. Если бы я хотела донести до вас мысль, отраженную в этом абзаце, но у меня была бы повреждена зона Вернике, я бы изложила ее примерно так: *“Трач молодой, и у него там эта женщина плохо слышала-видела, и там это сзади размягчение, черт его знает что! Ну и вот он и открыл!”*

Таким образом, в XIX веке картина казалась четкой и ясной. Есть мозг, и в мозге есть две зоны, отвечающие за речь. При их повреждениях возникает нарушение функции. Существует моторная афазия, она же афазия Брока, – неспособность говорить. И существует сенсорная афазия, она же афазия Вернике, – неспособность понимать речь. И та и другая были описаны на базе единичных примеров, потому что нейробиологов тогда было мало и далеко

¹⁹ Строго говоря, зона Брока расположена именно в левом полушарии у большинства людей, но не у всех. Около 4 % правшей и около 15 % левшей и амбидекстров используют для тех же задач симметричный участок правого полушария – или оба полушария одновременно*. Knecht, S. et al. (2000). Handedness and hemispheric language dominance in healthy humans. *Brain*, 123 (12), 2512–2518.

²⁰ Lorch, M. (2011). Re-examining Paul Broca's initial presentation of M. Leborgne: Understanding the impetus for brain and language research. *Cortex*, 47 (10), 1228–1235.

²¹ Geschwind, N. (1967). Wernicke's Contribution to the Study of Aphasia. *Cortex*, 3 (4), 449–463.

не все люди с нарушениями речи попадали к ним на прием. Да и нарушений речи было мало: в мирное время основные причины повреждений мозга – это инсульт или опухоль. Но когда антибиотики еще не изобретены, а вакцинация только-только начинает развиваться, дожить до своего первого инсульта или опухоли удается далеко не каждому.

В XX веке нейробиологов стало много, и, к сожалению, пациентов тоже. Типичное описание клинического случая в монографии Александра Лурии “Травматическая афазия”²² начинается так: “Больной Пол. (история болезни № 3312) получил 29/XI 1942 г. проникающее осколочное ранение ниже-задних отделов левой височной доли на границах с затылочной, сопровождавшееся длительной потерей сознания”. В книге подробно описаны десятки случаев. Четырехзначные номера историй болезни. 1941–1945 годы. И это только те пациенты, которых удалось доставить живыми в клинику нервных болезней Всесоюзного института экспериментальной медицины в Москве.

Во многих случаях врачи встречались с классической моторной или сенсорной афазией. Лурия цитирует рассказы о ранениях, характерные для пациентов с афазией того или иного типа (думаю, вам не составит труда разобраться, где какая):

“Вот... фронт... немец... идти... рта... ата-ку... потом... голова... вот... ра-не-ный... нога, рука... вот... эх... о-пе-ра-ци-я... эх... говорить... нету!”

“Я же не знаю ничего... Вот сначала их много было... и вот... раз!!! – и потом ничего... а потом вдруг вот вижу... и вижу! И вот так (показывает на голову) – и вот так! А потом опять ничего... А потом чуть-чуть, совсем немножко... а теперь уже вот, хорошо!”

Но по мере накопления информации стало понятно, что картина значительно сложнее.

Во-первых, афазии (приобретенные нарушения речи) могут возникать не только при травмах классических речевых центров или даже соседних с ними областей, но иногда и при ранениях отдаленных участков головы. Для поддержания полноценной речи важны не только зоны Брока и Вернике, но и практически все отделы коры, и афазию бессмысленно рассматривать в отрыве от всех остальных нарушений работы мозга. Повреждения префронтальной коры, например, мешают планировать любую свою деятельность, и это отражается на речи: человек физически способен говорить, но ему сложно придумать, что именно он хочет сообщить и как нужно выстроить композицию будущего высказывания. Повреждения височной коры могут вызвать амнестическую афазия, при которой человеку трудно вспомнить нужные слова для формирования собственных высказываний или удерживать в памяти сразу все содержание обращенного к нему предложения.

Во-вторых, даже разрушение классических речевых центров – нижней лобной извилины или верхней височной извилины в левом полушарии – необязательно вызовет нарушения речи. Около 3,5 % пациентов не демонстрируют такой проблемы с самого начала, и примерно у 15 % афазия проходит со временем. Благодарить за это нужно то обстоятельство, что речевые центры не всегда расположены в левом полушарии, они могут быть и в правом, и в обоих. Лурия предположил, что даже если первоначально функции обеспечения речи принадлежали левому полушарию, то после травмы контроль за ними может перейти к правому, по крайней мере у некоторых счастливиц. Вопрос о возможности такого перехода (даже в случае травмы у маленького ребенка) и сегодня остается дискуссионным²³, но, во всяком случае, Лурия показал, что прогноз оказывается более благоприятным для тех пациентов-правшей, которые демонстрируют скрытые признаки левшества. “Скрытые признаки” означают, что человек вообще-то правша, но есть нюансы. Например, у него были в роду родственники-левши. Или при выполнении действий, требующих участия обеих рук, он задействует левую руку в боль-

²² Лурия, А. Р. (1947). *Травматическая афазия. Клиника, семиотика и восстановительная терапия*. М.: Издательство АМН СССР.

²³ Raja Beharelle, A. et al. (2010). Left hemisphere regions are critical for language in the face of early left focal brain injury. *Brain*, 133 (6), 1707–1716.

шей степени, чем обыкновенные правши. И все это может означать, что у него не так сильно, как у обычных людей, выражено превосходство левого полушария над правым²⁴. На этом месте я предлагаю поаплодировать – не мне, а Александру Лурии. Хлопать надо так, чтобы одна ладонь была над другой. Какая у вас оказалась сверху? Если левая (как вы это делаете?! это же жутко неудобно!), это повышает шансы на то, что ранение левого полушария будет для вас менее опасным.



В-третьих, мы аплодируем Лурии потому, что он изучал восстановление после травм – и способы лечения пациентов с афазией. Основная идея здесь такая: мозг большой и сложный, и многие задачи можно решать разными способами. Это как с транспортной системой: раньше вы летали из Челябинска в Волгоград с пересадкой в Москве, но если Москва вдруг оказалась разрушена, то надо попробовать проложить прямой маршрут или хотя бы сделать пересадку в Петербурге – все лучше, чем вообще не долететь. Лурия формулирует эту мысль немного сложнее, чем я: “Нарушенная функция может в известных пределах восстановиться путем включения в новую функциональную систему с помощью придачи ей новой афференциации, компенсирующей утерянное звено прежней функциональной системы”²⁵. Это потрясающе, потому что книга написана в 1947 году и при этом в ней вовсю обсуждается нейропластичность, способность мозга к самоперестройке, которую мы до сих пор воспринимаем как

²⁴ В мозге все перепутано: левое полушарие контролирует мышцы правой половины тела, и наоборот. У большинства людей левое полушарие доминирует, и именно поэтому им – нам – удобнее выполнять точные движения правой рукой. Но это доминирование может быть выражено в разной степени, и, видимо, это касается как контроля за движениями, так и локализации речевых центров.

²⁵ Лурия, А. Р. (1947). *Травматическая афазия. Клиника, семиотика и восстановительная терапия*. М.: Издательство АМН СССР.

какое-то свежее и удивительное открытие. Во второй части книги я буду вам взалхлеб рассказывать, что вот психотерапия-то, оказывается, может анатомически изменять мозг: только-только показали с помощью томографии, суперсовременные данные – обалдеть! Ну да, а Лурия рассматривал изменение структуры связей между нейронными ансамблями как свою повседневную рабочую задачу семьдесят лет тому назад.

В каждом конкретном случае эта задача решается по-разному. Если, например, человек утратил способность произносить звуки не задумываясь – ему приходится задумываться, то есть изучить с помощью рисунков, как именно должны двигаться губы и язык, чтобы произнести тот или иной звук, и практиковать это, контролируя свое отражение в зеркале, до тех пор, пока эти навыки не будут снова автоматизированы, уже за счет каких-то новых обходных путей в мозге. Если человек утратил способность понимать обращенную к нему устную речь, но сохранил восприятие письменной, то ему задают одни и те же вопросы одновременно письменно и устно (и он на них благополучно отвечает), но при этом текст вопроса, написанный от руки, с каждым сеансом становится все менее, **и менее, и менее разборчивым и наконец полностью нечитаемым**, и человек, сам того не замечая, заново учится опираться на звуковую подсказку. Если человек утратил непосредственную способность понимать, чем отличаются словосочетания “круг под крестом” и “крест под кругом”, то он обучается осознанно выделять, кто из них стоит в именительном падеже, и заменять относительное “под” на абсолютное “снизу”, и уже таким образом восстанавливать значение: что в именительном падеже, то и снизу. Если человеку сложно пересказать прослушанную историю, ему может помочь шпаргалка, список универсальных смысловых связок, которые можно ставить перед каждой мыслью: “Однажды...”, “Когда...”, “В то время как...”, “После этого...”, – опираясь на которые рассказчик может выстроить логику повествования²⁶.

Сегодня зоны Брока и Вернике по-прежнему занимают большое место в учебных курсах и научно-популярных книгах (потому что они – классный пример локализации функций в мозге), но несколько изменился взгляд на их задачи. Накопленные данные показали, что при повреждении зоны Брока страдает не только речь, но и понимание – особенно в том, что касается различения грамматических конструкций (“мальчик бежит за девочкой”, “девочка бежит за мальчиком” – кто за кем бежит?). А при повреждении зоны Вернике страдает не только понимание, но и речь, особенно в том, что касается подбора правильных слов. Поэтому сегодня скорее принято считать, что зона Брока важна для работы с грамматикой, а зона Вернике – для работы с семантикой, то есть со смыслом, содержанием слов^{27,28}. При этом (разумеется! конечно!) зоны Брока и Вернике не хранят в себе все нужные слова и грамматические конструкции, а только помогают быстро извлекать эту информацию, распределенную по огромному количеству отделов, и работают в тесном взаимодействии и друг с другом, и со всей остальной корой, и с подкорковыми структурами мозга.

Функциональная магнитно-резонансная томография, например, позволяет составить семантическую карту мозга. То есть не просто посмотреть, какие участки коры задействованы во время восприятия речи, но даже сопоставить картину активности мозга с конкретным смыслом слов: выделить зоны, реагирующие на эмоционально окрашенные слова; на слова, связанные с межличностными отношениями; на слова, связанные с жестокостью; на названия

²⁶ Если честно, я тоже пользуюсь подобными приемами; травм мозга у меня не было, но я в принципе глуповата. Например, я не умею непосредственно различать право и лево, но зато я помню, на какой ноге у меня есть шрам, и помню, что она левая, – от этого факта выстраиваю и все остальные пространственные отношения.

²⁷ Bates, E. (1994). Modularity, Domain Specificity and the Development of Language. *Discussions in Neuroscience*, 10 (1/2), 136–149.

²⁸ Ardila, A. et al. (2016). How Localized are Language Brain Areas? A Review of Brodmann Areas Involvement in Oral Language. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 31 (1), 112–122.

цветов и другие описания визуальных образов; на упоминания чисел и так далее²⁹. Обнаруживаются две удивительные вещи. Во-первых, структура семантической карты, то есть соответствие между активностью мозга и значением слов, очень похожа у разных испытуемых, по крайней мере говорящих на одном языке и воспитанных в одной и той же культуре. Во-вторых, в восприятие речи вовлечена буквально вся кора, огромное количество участков и в правом, и в левом полушарии. Так что когда я или какой-нибудь другой популяризатор рассказывает вам, что для понимания речи нужна зона Вернике, – в принципе это правда. Но с одной оговоркой: помимо зоны Вернике, нужно еще примерно все остальное.

Все отрезать и посмотреть, что будет

На протяжении большей части XX века ученые были вынуждены обходиться без магнитно-резонансной томографии (за неимением таковой), так что исследовать мозг часто приходилось с помощью скальпеля. Если у вас есть пациент, которому вы не можете помочь, то можно, по крайней мере, разрушить ему большой кусок мозга и посмотреть, что получится.

Сегодня это кажется чудовищным, но нужно понимать контекст. В 1937 году в США было более 450 тысяч пациентов, заключенных в сумасшедших домах; половина из них проживала там более пяти лет³⁰. Многие проявляли неконтролируемую агрессию и были опасны для окружающих, а медицина того времени не могла предложить ничего, кроме смиренных рубашек и запертых камер. Никаких антипсихотических лекарств не было: аминазин изобрели в 1953 году, галоперидол – в 1967-м. Зато уже к середине тридцатых накопились результаты экспериментов на собаках и обезьянах, показывающие, что повреждение лобной доли делает их менее агрессивными, более спокойными и склонными к сотрудничеству с человеком. Ознакомившись с этими данными, португальский невролог (а еще бывший министр иностранных дел и вообще довольно разносторонний человек) Эгаш Мониш и его коллега Алмейда Лима не откладывая в долгий ящик начали проводить опыты над неизлечимыми пациентами психиатрических клиник. Сначала они повреждали лобную долю с помощью инъекций спирта, потом придумали инструмент для разрушения проводящих путей между лобной долей и остальным мозгом. Результаты очень вдохновили Мониша: его пациенты становились спокойными, конформными и послушными. В одной из ранних публикаций в качестве свидетельства выздоровления приводится история о том, как пациент после операции согласился сказать жене, куда он спрятал свои деньги, и их благополучно удалось найти и положить на депозит³¹. “Факты говорят сами за себя, – триумфально заключает Мониш. – Префронтальная лейкотомия – простая операция и всегда безопасная”.

Опыт Мониша с энтузиазмом переняли его американские коллеги – Уолтер Фримен и Джеймс Уоттс. В 1942 году они публикуют отчет о 136 проведенных операциях³² (пациенты страдали от шизофрении, депрессии и разнообразных форм напряжения, невроза и психоза, которые затруднительно соотнести со строгой терминологией современных классификаций). Из этих людей 27 смогли вернуться к обычной работе, 16 начали подрабатывать или учиться, 39 смогли заниматься домашним хозяйством, 30 не были пристроены ни к какому делу, но, по крайней мере, тоже вернулись жить домой, 13 остались в клинике и 11 умерли

²⁹ Huth, A. et al. (2016). Natural speech reveals the semantic maps that tile human cerebral cortex. *Nature*, 532, 453–458.

³⁰ Faria, M. A. (2013). Violence, mental illness, and the brain – A brief history of psychosurgery: Part 1 – From trephination to lobotomy. *Surgical Neurology International*, 4 (49).

³¹ Moniz, E. (1937). Prefrontal leucotomy in the treatment of mental disorders. *The American Journal of Psychiatry*, 93, 1379–1385.

³² Freeman, W. & Watts, J. (1942). Prefrontal lobotomy: the surgical relief of mental pain. *Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 18 (12), 794–812.

в ходе операции или через некоторое время после нее. По тем временам это рассматривалось как хорошее достижение – потому что в противном случае в клинике остались бы они все.

Фримен и Уоттс признают, что личность человека меняется по сравнению с тем, какой она была до заболевания. Люди обычно становятся более ленивыми; говорят все, что взбредет в голову, без учета социального контекста; их эмоциональные реакции бурные, но неглубокие и недолговечные; нет задумчивой меланхолии, болезненных чувств, мрачного молчания. “С этими пациентами можно обращаться как с детьми, демонстрируя им эмоциональные реакции в ответ на их нежелательное поведение”, – советуют авторы. Они переименовывают операцию из лейкотомии в лоботомию (от греческого Λοβός – “доля”; созвучие со лбом тут случайное), разрабатывают технологию проведения операции через глазницу, без необходимости вскрытия черепа, и оборудуют “лоботомобиль” – фургон для операций, на котором Фримен объезжает 23 штата и выполняет 3449 лоботомий по цене 25 долларов за штуку. 19 из них были проведены несовершеннолетним, самому младшему пациенту было четыре года³³.

Спектр показаний к операции стремительно расширяется и становится все менее строгим, предварительное и послеоперационное наблюдение за пациентами постепенно сходит на нет. Эгаш Мониш получает Нобелевскую премию. Розмари Кеннеди, сестра будущего президента, превращается в инвалида после неудачно проведенной лоботомии (родители остаются довольны, так как у Розмари был низкий IQ и трудности в обучении и она постоянно компрометировала свою приличную семью). Говард Далли переживает операцию в двенадцатилетнем возрасте из-за подозрения на шизофрению, мелкого хулиганства, а также по желанию мачехи, затем восстанавливается достаточно для того, чтобы написать книгу “Моя лоботомия”. Кен Кизи пишет книгу “Пролетая над гнездом кукушки”, в которой один из главных героев подвергается лоботомии, после того как нападает на медсестру; сила искусства слишком велика, чтобы мы могли в этой ситуации посочувствовать персоналу клиники.



³³ Walker, C., Hart A., Hanna P. (2017). Introduction: Conceptualising mental health in the twenty-first century. In: *Building a New Community Psychology of Mental Health*. Palgrave Macmillan, London.

Постепенно накапливаются данные о том, что лоботомия не просто делает человека “спокойнее”, а по сути уничтожает его личность – способность к проявлению инициативы, планированию своих действий, поддержанию устойчивого интереса хоть к чему-нибудь³⁴. Она может приводить к недержанию мочи. Часто вызывает эпилептические припадки³⁵. По-видимому, снижает IQ, хотя здесь на удивление мало исследований, выборки крохотные³⁶, а выводы противоречивые³⁷: с одной стороны, потому что в принципе далеко не все пациенты были достаточно коммуникабельны, чтобы проходить формализованный тест, а с другой – потому что и исследователи в сороковых годах были настолько очарованы новой операцией, что зачастую не считали необходимым сопровождать ее какой-то серьезной оценкой состояния пациентов до и после. К концу пятидесятых это очарование все же развеялось (к тому же появились лекарства, позволяющие контролировать агрессию), и использование префронтальной лоботомии постепенно сошло на нет.

Это не означает, что ученые и врачи полностью отказались от идеи проведения операций на мозге с целью воздействия на поведение. Их продолжали активно изучать во второй половине XX века, и некоторые исследовательские центры продолжают эту работу и сегодня³⁸. Печальный опыт массового применения лоботомии научил человечество тому, что нужно думать, что именно вы отсекаете, кому и для чего и согласен ли с этим сам человек (или, по крайней мере, его опекуны) даже после перечисления всех возможных побочных эффектов, – а вовсе не тому, что психирургия в принципе бесполезна.

Например, в наше время она может применяться для лечения обсессивно-компульсивного расстройства – в том случае, если пациенту не помогла ни психотерапия, ни медикаментозное лечение. Люди с этим заболеванием страдают от навязчивых мыслей и почти неконтролируемого стремления к выполнению повторяющихся и бессмысленных действий. Скажем, они могут испытывать патологическую потребность в чистоте. Ничего смешного или полезного здесь нет. Они перемывают свой дом по десять раз в день, до кровавых мозолей, даже несмотря на то, что сами понимают всю абсурдность этого стремления, и тратят множество душевных сил на борьбу с навязчивым желанием перемывать дом не десять раз в день, а пятьдесят. Томографические исследования демонстрируют, что обсессивно-компульсивное расстройство сопровождается повышенной активностью орбитофронтальной коры, передней поясной коры и ряда подкорковых структур, а если человеку помогло лечение и симптомы обсессивно-компульсивного расстройства стали слабее, то соответственно снижается и активность в этих зонах. Если же обычное лечение не помогает, то можно предложить пациенту удалить часть передней поясной коры или перерезать проводящие пути, связывающие ее с соседями. Люди часто соглашались, потому что сами страдают от своей болезни. Обобщение результатов 10 таких исследований, в которых приняли участие 193 пациента³⁹, показало, что при операции на поясной коре выраженность симптомов снижается в среднем на 37 %, а при перерезании проводящих путей – в среднем на 57 %. Вообще это оценивается с помощью формальных опросников, но для наглядности можно представить, что человек теперь перемывает дом не десять раз в день, а только четыре. А это уже хоть как-то совместимо с жизнью.

³⁴ Leveque, M. (2014). *Psychosurgery: New Techniques for Brain Disorders*. Springer.

³⁵ Freeman, W. (1953). Lobotomy and Epilepsy: a study of 1000 patients. *Neurology*, 3 (7), 479–94.

³⁶ Rosvold, H. E. & Mishkin, M. (1950). Evaluation of the effects of prefrontal lobotomy on intelligence. *Canadian Journal of Psychology*, 4 (3), 122–126.

³⁷ Struckett, P. B. A. (1953). Effect of prefrontal lobotomy on intellectual functioning in chronic schizophrenia. *AMA Archives of Neurology & Psychiatry*, 69 (3), 293–304.

³⁸ Leveque, M. (2014). *Psychosurgery: New Techniques for Brain Disorders*. Springer.

³⁹ Brown, L. T. et al. (2016). Dorsal anterior cingulotomy and anterior capsulotomy for severe, refractory obsessive-compulsive disorder: a systematic review of observational studies. *Journal of Neurosurgery*, 124, 77–89.

Человек, которому ничего не надоедало

К 1950 году нейрохирурги уже осознавали, что стратегия “давайте разрушим как можно больше связей между таламусом и корой и посмотрим, что получится” нелепа и ущербна, потому что такая операция вызывает у пациентов серьезные изменения личности и при этом не позволяет исследователям понять, как именно соотносятся конкретные функции мозга с конкретными участками коры, потому что вы разрушаете слишком многое. С другой стороны, делать-то с пациентами что-то надо было. Поэтому начинается интенсивная разработка более селективных методов, подразумевающих разрушение какого-то менее крупного участка коры (или его связей с другими отделами). Результаты таких операций оценивались более внимательно, чем в случае Фримена с его гастрольным туром на лоботомобиле по всей стране.

Одним из видных апологетов нового щадящего подхода становится нейрохирург из Коннектикута Уильям Сковилл. Он делит своих пациентов на три группы и каждой разрушает только какую-то часть лобной доли – верхнюю, или среднюю, или нижнюю, прилегающую к глазам⁴⁰. Площадь поврежденного участка коры в каждом случае он оценивает в 60 квадратных сантиметров, что лучше стандартной лоботомии, при которой эта площадь составляет, тоже по оценке Сковилла, около 160 квадратных сантиметров. Он аккуратно сравнивает эффекты от разных вмешательств и приходит к выводу, что лучше всего разрушать нижнюю часть лобной доли, орбитофронтальную кору. Это приводит к улучшению у 14 пациентов с шизофренией из 28, и в процентном отношении этот результат лучше, чем при полной префронтальной лоботомии. В случае аффективного психоза улучшение наблюдается у 5 пациентов из 6 (шестой умер), и это такой же хороший результат, как и после полной лоботомии. А если нет разницы, зачем резать больше? Тем более что при повреждении одной только орбитофронтальной коры, по оценке Сковилла, практически нет изменений личности.

В дальнейшем Сковилл сосредотачивается на том факте, что орбитофронтальная кора тесно взаимодействует с медиальной височной корой и, может быть, надо вообще повреждать височную долю, а не лобную. Он начинает проводить такие операции, в разных случаях вырезая разное количество нервной ткани. В основном он работает с пациентами, страдающими от психоза. Первые результаты вроде бы многообещающие – психоз становится менее выраженным, личность не меняется.

Как раз в это время к Сковиллу обращается за консультацией Генри Молисон⁴¹, молодой человек, с десятилетнего возраста страдающий от эпилептических припадков⁴². Приступы постепенно усиливались и к 27 годам полностью лишили его способности работать и жить полноценной жизнью. В любой момент он мог неожиданно начать биться в судорогах, прикусывал себе язык, не контролировал мочеиспускание и япосле каждого припадков долгое время находился в полубессознательном состоянии. Молисон перепробовал абсолютно все существовавшие тогда способы лечения, но ничего не помогало. К тому же в его случае не удавалось установить с помощью электроэнцефалограммы, в какой именно части мозга зарождается эпилептический припадок: судорожная активность возникала как будто бы везде одновременно.

Уильям Сковилл честно рассказал Молисону, что современная наука не очень понимает, что с ним делать. “Но вот, – говорит, – я лично сейчас работаю с медиальной височной долей. Могу вам сказать, что в принципе эпилептическая активность часто зарождается именно там, в гиппокампе и прилегающих к нему структурах. И наоборот, хотя известно, что в принципе

⁴⁰ Scoville, W. B. et al. (1951). Selective cortical undercutting: results in new method of fractional lobotomy. *The American Journal of Psychiatry*, 107 (10), 730–738.

⁴¹ В научных статьях его называют *patient H. M.*, настоящее имя было обнародовано после его смерти в 2008 году.

⁴² Scoville, W. B. & Milner B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 20 (1), 11–21.

лоботомия повышает вероятность эпилептических припадков, но вот именно в случае иссечения медиальной височной доли они как раз возникают реже всего. Хотите, попробуем вам провести такое экспериментальное лечение?” – “Хотим”, – сказали Молисон и его родственники, потому что терять им было уже нечего. Во время операции, проведенной 1 сентября 1953 года, Сковилл пробовал вживлять Молисону электроды и стимулировать разные участки мозга в надежде все-таки обнаружить локализованный эпилептический очаг, но безуспешно, так что завершил операцию в соответствии с первоначальным планом и удалил пациенту значительную часть медиальной височной доли: гиппокамп, парагиппокампальную извилину, амигдалу и некоторые другие прилегающие к ним структуры.



Генри Молисон хорошо перенес операцию, эпилептические припадки действительно стали заметно слабее и отныне поддавались лекарственному контролю. Его личность, по оценке семьи, никак не изменилась. Интеллект тоже не был нарушен. Но вскоре обнаружилось, что он – так же как и еще один пациент Сковилла, которому тоже удалили гиппокамп, –

испытывает серьезные проблемы с запоминанием новой информации (старые воспоминания по большей части сохранились, хотя он не мог вспомнить сотрудников госпиталя, а также забыл, что его любимый дядя умер). Сам Сковилл не очень этим заинтересовался, Генри Молисон вернулся жить домой, а Сковилл продолжил исследовать способы лечения психоза.

В 1955 году Уайлдер Пенфилд (нейробиолог из предисловия книжки, который нарисовал гомункулуса и вызывал у людей воспоминания с помощью электростимуляции) выступает с докладом, в котором описывает два похожих случая: нарушения памяти у пациентов после удаления эпилептических очагов в медиальной височной доле. Тогда Сковилл звонит Пенфилду и рассказывает, что у него тоже есть такой пациент⁴³. Пенфилд отправляет к нему в Коннектикут свою коллегу Бренду Милнер, и на всю оставшуюся жизнь она становится бессменным и главным исследователем случая Генри Молисона и других подобных ему пациентов (и вообще одним из ключевых игроков в развитии нейропсихологии; на момент написания этих строк она не только жива, но и продолжает работать, хотя в июле 2018 года ей исполнилось 100 лет).

Бренда Милнер встретила с Генри Молисоном за обедом, а через полчаса он не мог не только припомнить, что они ели, но и сказать, обедал ли он вообще. Его семья рассказала, что он читает одни и те же журналы и собирает одни и те же пазлы изо дня в день, не обнаруживая никаких признаков скуки. Что он никогда не знает, где лежит газонокосилка, даже если пользовался ей только вчера. Что серьезные бытовые проблемы начались, когда семья была вынуждена переехать: он прекрасно помнил свой старый адрес, но за 10 месяцев так и не выучил новый.

При дальнейшем общении стало понятно, что кратковременная память у Генри Молисона была ничуть не хуже, чем у любого из нас. Он мог без проблем, например, удерживать в памяти трехзначное число (пусть будет 318), время от времени мысленно к нему возвращаясь, в течение 15 минут. Но стоило ему только отвлечься, как он забывал не только сами цифры, но и то, что ему вообще давали такое задание. Молисон помнил большую часть событий, происходивших с ним в детстве; не всегда хорошо ориентировался в том, что происходило между 16 и 27 годами (например, не мог припомнить свой школьный выпускной вечер), и практически не запоминал все то, что случилось после операции⁴⁴. В 1973 году, например, Молисон не знал, что такое «Уотергейт»⁴⁵, хотя смотрел новости по телевизору каждый день, а тогда в новостях только об этом и говорили. При этом некоторые важные события он все же запоминал. Например, осознавал, что его отец умер, хотя это произошло через много лет после операции⁴⁶. Он также знал, что президент Кеннеди был убит, хотя и не мог сообщить никаких деталей о том, как это произошло.

Знание своего домашнего адреса или значения слова «Уотергейт» – это декларативная память. Она работает с фактами о мире, которые можно выразить в словах. У Генри Молисона была нарушена запись в долговременную память именно таких фактов. При этом у него нормально работала имплицитная память – способность к освоению навыков, которые обычно никто не пытается описать словами. Например, хотя он и не помнил адреса своего дома, но он постоянно по нему ходил – и был способен правильно нарисовать план комнат, несмотря на то что ни разу не бывал в этом доме до операции. Еще более яркой иллюстрацией этого

⁴³ Squire, L. R. (2009). The Legacy of Patient H. M. for Neuroscience. *Neuron*, 61 (1), 6–9.

⁴⁴ Corkin, S. (1984). Lasting consequences of bilateral medial temporal lobectomy: Clinical course and experimental findings in H.M. *Seminars in Neurology*, 4 (2), 249–259.

⁴⁵ Президент Никсон, планируя избираться на второй срок, организовал прослушку штаба конкурентов в бизнес-центре «Уотергейт», а когда исполнителей поймали, препятствовал объективному расследованию. Избраться-то он избрался, но скандал разгорелся страшный, и в 1974 году Никсон был вынужден уйти в отставку. В некоторых обществах считается, что если действующий президент создает препятствия на пути другого кандидата в президенты, то это ненормально.

⁴⁶ Milner, B. et al. (1968). Further analysis of the hippocampal amnesic syndrome: 14-year follow-up study of H. M. *Neuropsychologia*, 6 (3), 215–234.

факта стали эксперименты Бренды Милнер, в которых она предлагала Молисону рисовать геометрические фигуры, соединяя точки, но так, чтобы он не видел свою руку с карандашом непосредственно, а видел только ее отражение в зеркале⁴⁷. Это нетривиальная задача, и сначала у Молисона, как и у всех остальных людей, ничего не получалось. Но, так же как и все остальные люди, он постепенно принаравливался и после десятка испытаний рисовал фигуры уже практически без ошибок. На второй день сразу начинал рисовать их успешно. И на третий. Но только с одной маленькой особенностью: в отличие от обычных людей, он был совершенно уверен, что выполняет это задание впервые в жизни, и искренне удивлялся тому, каким нетрудным оно оказывалось. Это показывает, что для использования разных функций памяти нужны разные отделы мозга и, повреждая один из них, вы нарушаете некоторые из функций, но оставляете сохранными остальные.

В рассказах о Генри Молисоне (даже в университетских аудиториях) нередко используется живая и запоминающаяся иллюстрация: говорят, что он пугался, когда подходил к зеркалу, так как ожидал увидеть молодого мужчину, а в зеркале отражался старик. Я и сама приложила руку к распространению этого мифа, пересказав его несколько раз в своих научно-популярных лекциях про память. Была неправа. Такие наблюдения проводились⁴⁸, но нет, он не пугался. Во-первых, для того чтобы испытывать негативные эмоции, важна амигдала, а она у Молисона тоже была удалена в ходе операции. Во-вторых, в распознавании лиц ключевую роль играет не гиппокамп, а веретенообразная извилина, которая у Молисона не была повреждена, так что, вероятно, он вполне мог отслеживать те изменения, которые постепенно происходили с его лицом.

Генри Молисон умер 2 декабря 2008 года. Я даже помню, где я была и что делала в тот момент, когда об этом написали новостные сайты, – так же как большинство людей старше тридцати помнит, где они были 11 сентября 2001 года. Его мозг извлекли, детально рассмотрели в томографе, затем нарезали на слои толщиной в 1,26 миллиметра, сфотографировали каждый и создали цифровую трехмерную модель⁴⁹. Это помогло окончательно подтвердить результаты прижизненных томографических исследований: выяснилось, что Уильям Сковилл все-таки не удалил гиппокамп полностью, как предполагал сделать, его задняя часть осталась неповрежденной. Вероятно, это помогло Генри Молисону не оказаться полностью выключенным из реальности и запоминать хотя бы некоторые ключевые сведения о мире, такие как факт смерти его отца.

Мы говорили о том, что Генри Молисон, как правило, забывал новую информацию, как только переставал быть на ней сосредоточен. В связи с этим вопрос к вам: можете ли вы сейчас воспроизвести то трехзначное число, которое должен был запомнить Генри Молисон четырьмя абзацами выше? Вообще-то это совершенно нормально, что подавляющее большинство воспринятой нами информации сразу же теряется, как только мы перестаем обращать на нее внимание. В случае с числом было очевидно, что запоминать его вам незачем. Но вот общее представление о том, кто такой Генри Молисон и чем он знаменит, у вас наверняка сформировалось (а если вы и так слышали о нем раньше, то, возможно, обогатилось новыми подробностями), и, скорее всего, вы и завтра будете помнить и его имя, и особенности его биографии. Чтобы это было возможным, необходим гиппокамп; здорово, что он у вас есть.

⁴⁷ Milner, B. (1970). Memory and the medial temporal regions of the brain. In: *Biology of Memory*, edited by Pribram and Broadbent, Academic Press Inc, New York.

⁴⁸ Corkin, S. (2002). What's new with the amnesic patient H. M.? *Nature Reviews Neuroscience*, 3 (2), 153–160.

⁴⁹ Annese, J. et al. (2014). Postmortem examination of patient H. M.'s brain based on histological sectioning and digital 3D reconstruction. *Nature Communications*, 3122.

Как перестать бояться

Я уже пять раз написала в этой книжке слово “амигдала” и ни разу толком не объяснила, что это такое. Мне не стыдно, потому что люди обладают развитой способностью к тому, чтобы интуитивно понимать значение слов, опираясь на окружающий контекст (иначе мы не могли бы осваивать языки, начиная с родного), и даже если вы не были знакомы с амигдалой раньше, то к этому моменту вы все равно уже поняли, что это какой-то участок мозга, связанный со страхом. На самом деле не только со страхом, вообще с эмоциями, и даже необязательно отрицательными, а еще с формированием памяти о них.

В русскоязычном информационном пространстве идет горячая священная война из-за того, как надо называть эту область мозга. На латыни она – *corpus amygdaloideum*. Это означает “миндалевидное тело” (потому что амигдала правда похожа по форме на миндальный орех), и именно так она и называется в большинстве русскоязычных источников (в общем поиске Гугла – 275 000 результатов, в поиске по русскоязычным научным статьям – 2320). Но биологи и журналисты обычно работают с английскими научными текстами, и оттуда в их речь постепенно просачивается короткое и звонкое *amygdala* (на русском языке – 78 000 и 408 результатов выдачи соответственно). В первой книжке я еще писала “миндалевидное тело”, но теперь сознательно и цинично переключилась на амигдалу. Главным образом потому, что миндалевидное тело часто называют просто миндалиной, а это порождает путаницу, так как миндалины есть еще и в горле. Лучше, чтобы для каждого явления было свое слово, и удобно, когда оно одинаковое на русском и английском, – меньше трудностей перевода. Но в принципе если бы этот вопрос обсуждался на “Грамоте.ру” (я проверила, не обсуждается), то она, скорее всего, сказала бы, что я неправа и надо говорить “миндалевидное тело”, так что вы тоже можете меня за это осудить, я не против.

Так вот. Вообще-то про амигдалу (sic!) собирается писать целую отдельную книжку мой коллега Влад Муравьев. Но пока все равно непонятно, когда она выйдет, так что одну классную историю (из тех, которые он наверняка будет описывать более подробно) я просто не могу не упомянуть, раз уж эта глава посвящена людям с повреждениями мозга и важным вещам, которые мы смогли понять благодаря тому, что эти люди мужественно и великодушно соглашались взаимодействовать с учеными.

Вот случай из жизни женщины, известной под инициалами S. M. Однажды вечером – было уже совсем темно – она шла через небольшой сквер. Из церкви неподалеку доносилось пение хора. На скамье в сквере сидел человек, который, как показалось S. M., находился в состоянии наркотического опьянения. Он поманил женщину к себе, а когда она подошла, схватил ее за одежду и заорал, размахивая ножом: “Я тебя зарежу, сука!”⁵⁰ S. M. осталась спокойна, а поскольку церковное пение настроило ее на возвышенный лад, она ответила мужчине: “Если ты собираешься убить меня, тебе придется сначала разобраться с ангелами моего Бога”. Мужчина отпустил S. M., и она неторопливо пошла своей дорогой. На следующий день она проходила через тот же сквер без каких-либо опасений.

Двадцатилетний сын S. M. не смог припомнить ни одного случая, когда она была бы испугана. Зато он рассказал, как однажды в детстве он играл с братьями во дворе и увидел гигантскую змею. Она переползала через однополосную дорогу, и тело ее протянулось от одной обочины до другой. Он крикнул: “Офигеть какая огромная змея!” Тогда S. M. подбежала к детям, взяла змею и отнесла в траву за дорогой.

⁵⁰ Рутинка автора научно-популярных текстов: уточнить в издательстве, как перевести английское *bitch*, чтобы на книжке не появился ярлык “Содержит нецензурную брань” и ее не пришлось бы продавать в целлофановой обертке. Издательство перечислило мне четыре запрещенных корня, и я убедилась, что все в порядке.

У S. M. редкое генетическое нарушение – болезнь Урбаха – Вите. Это результат мутации в гене ESM1, необходимом для нормального функционирования соединительной ткани, так что самые заметные проблемы связаны с состоянием кожи и слизистых оболочек. Клиническая картина описывается в научной литературе весьма туманно, в формулировках вроде “накопление желтоватого инфильтрата и гиалиноподобных веществ”, ведь пациентов в мире очень мало и во всех деталях это заболевание еще не изучено. Интерес ученых оно привлекло вообще не из-за проблем с кожей, а потому, что оно может сопровождаться отвердеванием кровеносных сосудов в мозге и накоплением кальция в нервной ткани, что приводит к ее гибели. При этом поражается, к счастью, не весь мозг, а только небольшие его участки, причем более чем у половины пациентов – именно амигда. Это верно и в случае S. M. – практически весь мозг у нее в порядке, и только обе амигдалы, в правом и левом полушарии, полностью разрушены.



С тех пор как случай S. M. стал известен науке, ученые предприняли множество целенаправленных усилий, для того чтобы ее напугать⁵¹. Они показывали ей фильмы ужасов. Приводили в зоомагазин, полный змей и пауков. Устраивали экскурсию в лучший в Америке лабиринт ужасов на главное в году шоу страха, приуроченное к Хэллоуину. Все тщетно. Змей она брала на руки и трогала за язык, причем сотрудникам зоомагазина приходилось пресекать попытки S. M. потискать самых ядовитых питомцев, чтобы эксперимент прошел без человеческих жертв. В лабиринте ужасов она напугала одного из монстров-актеров, неожиданно ткнув его пальцем в голову. Самые жуткие сцены из фильмов ужасов бесстрашная женщина оценивала в лучшем случае на один балл по десятибалльной шкале – там, где здоровые добровольцы оценивают их на девять.

⁵¹ Feinstein, J. S. et al. (2011). The human amygdala and the induction and experience of fear. *Current Biology*, 21 (1), 34–38.

В 2013 году исследователи проверяли очередной способ вызвать страх, ожидая в очередной раз подтвердить, что для пациентов с болезнью Урбаха – Вите это не работает, потому что для любого страха нужна амигдала, а амигдалы нет⁵². Но на этот раз S. M. наконец испугалась. Более того, у нее случилась паническая атака. Когда воздействие было уже прекращено, она закричала: “Помогите мне!” – и экспериментатор немедленно помог ей освободиться. “Ее лицо покраснелось, ноздри трепетали, глаза были широко распахнуты”, – поэтично описывают ученые. После неожиданного успеха с S. M. они тут же провели такой опыт с еще двумя пациентами с болезнью Урбаха – Вите и с двенадцатью здоровыми людьми для контроля. Паника наблюдалась у всех трех больных и только у четверти людей из контрольной группы (то есть тоже у трех человек). Наблюдалось и сильное повышение физиологических показателей страха, таких как частота сердцебиения. Обычно для измерения страха регистрируют кожно-гальваническую реакцию, изменение электрической проводимости кожи в результате повышения потоотделения при испуге (тот же принцип применяется в детекторе лжи). В данном случае эти показания удалось снять только с одного пациента из трех, потому что, как вы помните, болезнь Урбаха – Вите сопровождается изменениями структуры кожи. Но да, у этого пациента кожно-гальваническая реакция была выражена очень сильно. Интересно, что у здоровых людей из контрольной группы кожно-гальваническая реакция и частота сердечного ритма росли в ожидании воздействия, а у людей с поврежденной амигдалой – только когда все уже случилось.

Как же напугать даже тех, кто не боится? Надеть им на лицо маску, чтобы они вдохнули газовую смесь с повышенным содержанием углекислого газа (35 %, а в нормальном воздухе – 0,03 %). Опыт считается вполне безопасным: во-первых, концентрация кислорода в этой смеси такая же, как в воздухе, а во-вторых, за раз предлагается сделать всего один глубокий вдох, после чего снова дышать нормально. Но одного вдоха вполне достаточно для того, чтобы углекислый газ поступил в кровь, подействовал на рецепторы, присутствующие и в стволе мозга, и в промежуточном мозге, и в островковой коре – в общем, много где, помимо отсутствующей амигдалы.

Это очень важный результат. Он показывает, что амигдала нужна не для того, чтобы испытывать страх, – а для того, чтобы его запускать, предварительно оценив угрозу. Без амигдалы вы неспособны испугаться маньяка, змеи, фильма ужасов... Но вот если у вас в крови слишком много углекислого газа, то есть вы задыхаетесь, то в мозге найдется масса других способов активировать панику.

Статус: все сложно

Допустим, вы сейчас отложите книжку и пойдете на свидание (отличная идея), и собеседник спросит вас, что вы сейчас читаете, а вы в ответ перескажете ему какую-нибудь историю из этого текста. Вопрос: какую? Я почему-то думаю, что либо про амигдалу, либо про гиппокамп. И не только потому, что они были недавно. А еще и потому, что я рассказываю про них значительно более четко и уверенно, чем про травмы коры. “Если вам повредить амигдалу, то вы не будете пугаться наркоманов в парке” – годится. “Если вам повредить такой-то участок коры, то вы...” Да черт его знает, что. Скорее всего, то-то и то-то, но у всех в разной степени и на разное время.

С одной стороны, даже небольшие повреждения коры могут вызывать довольно сильные перемены в поведении и восприятии реальности. Я уже рассказывала вам про речевые центры Брока и Вернике, при повреждении которых нарушается способность к членораздельной речи или к пониманию слов собеседника. Еще один яркий пример – это повреждения области

⁵² Feinstein, J. S. et al. (2013). Fear and panic in humans with bilateral amygdala damage. *Nature Neuroscience*, 16 (3), 270–272.

распознавания лиц в веретенообразной извилине, которые приводят – как вы догадались? – к нарушению распознавания лиц, или *прозопагнозии*⁵³.

Мы точно не знаем, была ли повреждена именно веретенообразная извилина у человека, который принял жену за шляпу, в одноименной книге Оливера Сакса (потому что этому пациенту не делали никакого сканирования мозга), но, скорее всего, да. Пациенты с таким диагнозом (подтвержденным результатами МРТ) действительно не узнают в лицо своих знакомых и даже близких родственников – хотя помнят об их существовании и могут привыкнуть узнавать их по каким-то другим чертам, например по голосу, причёске или одежде. Если показать им три фотографии одного и того же лица, из которых две одинаковые и обычные, а третья такая же, но сильно искажена в графическом редакторе – например, глаза сдвинуты к самой переносице или рот прижат близко к носу, – и попросить указать на фотографию, которая отличается, то процент правильных ответов будет на уровне случайного угадывания: люди с прозопагнозией невосприимчивы к пространственному расположению черт лица (хотя у некоторых из них результаты улучшаются, если им сказать, на что конкретно обратить внимание)⁵⁴.

Но даже с этими хрестоматийными примерами все не так однозначно. Зоны Брока и Вернике у некоторых людей могут быть расположены не в левом полушарии, а в правом. Прозопагнозия бывает врожденной, и в этом случае с веретенообразной извилиной у людей все в порядке, и она даже активизируется, когда им показывают лица⁵⁵, но узнавать знакомых им это не помогает – там присутствуют более тонкие нарушения, предположительно связанные со взаимодействием между разными отделами мозга⁵⁶.

С другой стороны, бывает наоборот: очень сильные повреждения мозга могут обходиться у некоторых счастливых практически без видимых последствий. Больше всего таких примеров связано с гидроцефалией – чрезмерным накоплением спинномозговой жидкости в желудочках головного мозга. Если гидроцефалия возникла у младенца, то ее трудно не заметить, потому что она сопровождается увеличением объема черепа. Ее заподозрит педиатр при плановом осмотре, порекомендует проконсультироваться с неврологом, и если диагноз подтвердится, то ребенку назначат лечение – чаще всего хирургическую операцию, например шунтирование для обеспечения оттока жидкости. Но если гидроцефалия возникла позже, когда череп уже неспособен к быстрому росту, то увеличенные желудочки начинают сдавливать мозг. Опять же, в этом случае человек обычно испытывает тошноту, головную боль, сонливость, нарушения координации движений и другие неприятные симптомы, доходит до невролога, получает диагноз и лечение.

Однако изредка случается, что очень сильную гидроцефалию обнаруживают у взрослого человека совершенно случайно⁵⁷. Скажем, в восьмидесятые годы был описан случай студента-математика с IQ=130, который попал в сферу внимания врачей только в 20 лет в связи с жалобами на замедленное половое созревание. Врач обратил внимание на то, что у юноши довольно крупная голова, и направил его на сканирование мозга. Выяснилось, что желудочки занимают большую часть черепа, а объем собственно мозга, по самым оптимистичным расчетам, составляет 56 % от нормального.

⁵³ Kanwisher, N. & Yovel, G. (2006). The fusiform face area: a cortical region specialized for the perception of faces. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 361 (1476), 2109–2128.

⁵⁴ Barton, J. J. S. et al. (2002). Lesions of the fusiform face area impair perception of facial configuration in prosopagnosia. *Neurology*, 58 (1), 71–78.

⁵⁵ Avidan, G. et al. (2005). Detailed exploration of face-related processing in congenital prosopagnosia: 2. Functional neuroimaging findings. *Journal of Cognitive Neurosciences*, 17 (7), 1150–1167.

⁵⁶ Rosenthal, G. et al. (2017). Altered topology of neural circuits in congenital prosopagnosia. *eLIFE*, 6, e25069.

⁵⁷ Nahm, M. et al. (2017). Discrepancy between cerebral structure and cognitive functioning. A review. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 205, 967–972.

Другой документально подтвержденный пример: женщина, обратившаяся к врачам в 44 года с жалобами на головную боль и в результате выяснившая, что больше половины объема ее черепа заполняет спинномозговая жидкость. За исключением головной боли, ее ничего не беспокоило, ее IQ был 98, она работала администратором, а на досуге учила иностранные языки и знала их семь штук. Правда, окружность головы у нее была 62 сантиметра (я, конечно, тут же оторвалась от компьютера, чтобы измерить свою: получилось 54), но, в конце концов, большая голова – это красиво.

Предполагается, что в случае гидроцефалии на руку пациентам играет тот факт, что болезнь развивается постепенно. Мозг успевает перестроиться, оптимизировать свои функции, перераспределить их от более пострадавших отделов к менее пострадавшим. Если бы повреждение такого масштаба случилось одномоментно, то человек бы, вероятно, погиб. Но это не точно.

В 2016 году нейробиологи и врачи из четырех стран собрались вместе, чтобы описать случай пациентки С. Г., менеджера в международном банке из Аргентины⁵⁸. Когда ей было 43 года, она испытала острый приступ головной боли, ее затошнило, она потеряла сознание. Когда ее доставили в больницу, компьютерная томография показала массивное кровоизлияние в мозг. После этого С. Г. долго и тяжело поправлялась, подвижность левой половины тела нарушилась, через полгода к тому же начались эпилептические припадки, от которых плохо помогали лекарства. Через полтора года после первого инсульта она пережила второй, на этот раз ишемический (связанный с нарушением кровоснабжения). Парадоксальным образом после него она поправлялась быстрее, чем после первого, жалобы были только на снижение чувствительности в правой руке и появление синестезии⁵⁹, причем последняя вскоре исчезла. В общей сложности в результате двух инсультов у нее серьезно пострадало правое полушарие (все его зоны: и лобная, и височная, и теменная, и затылочная кора), сильвиева борозда и полосатое тело в левом полушарии, островковая кора и амигдала с обеих сторон и мозолистое тело в придачу.

При этом у С. Г. все в порядке. Это подтверждают и ее мама, и друзья. И исследования – тоже. Она без проблем справлялась со стандартными неврологическими тестами на способность к контролю за своими действиями и словами. Например, когда экспериментатор хлопает по столу один раз, вам нужно хлопнуть дважды, и наоборот. Или вам нужно закончить предложение, используя грамматически подходящее, но непригодное по смыслу слово: “Москва – столица нашей...” (“родины” – неправильный ответ, подойдет что-нибудь вроде “ежевика”). У испытуемой не было проблем с рабочей памятью – например, с тем, чтобы воспроизвести в обратном порядке последовательность, в которой экспериментатор указывал на четыре кубика. С. Г. различала вкусы растворенных в воде сахара, соли, лимонной кислоты и хинина не хуже, чем контрольная группа здоровых испытуемых. Она реагировала на эмоционально окрашенные видеоролики так же, как все. Понимала, какие эмоции выражают люди, говорящие с разными интонациями или сфотографированные с разными выражениями лиц. Единственная проблема, которую все-таки удалось выявить экспериментаторам в ходе серии тестов, заключалась в том, что у С. Г. была снижена чувствительность к запахам. В попытках придраться к чему-нибудь еще экспериментаторы отмечают, что С. Г. очень открыта и охотно обсуждает свои медицинские проблемы и свои чувства по этому поводу даже с теми людьми,

⁵⁸ Garcia, A. M. et al. (2016). A lesion-proof brain? Multidimensional sensorimotor, cognitive, and socio-affective preservation despite extensive damage in a stroke patient. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8, 335.

⁵⁹ Синестезия – это склонность мозга к тому, чтобы смешивать информацию разных модальностей, скажем, воспринимать цифры и буквы – или людей, как в случае С. Г., – имеющими свои определенные цвета. Это не жульничество: например, если показать синестету лист, заполненный цифрами 5 вперемешку с цифрами 2, то он видит их по-разному окрашенными и поэтому мгновенно сообщает, в какую именно фигуру складываются цифры на листе. Подробнее можно почитать в книге Вилейанура Рамачандрана “Мозг рассказывает”.

которых встречает впервые (ну мало ли, я вот тоже все легко обсуждаю, а у меня даже инсульта пока не было). Ну и еще у нее по-прежнему снижена чувствительность правой руки, но это не мешает ей ни печатать на компьютере, ни завязывать шнурки. Честное слово, если бы кто-то придумал, как применить опыт выздоровления С. Г. при реабилитации других пациентов с инсультом, то этому гению следовало бы немедленно присудить Нобелевскую премию, а еще дать “Оскара”, медаль “Мисс Вселенная” и избрать в президенты.

К сожалению, пока что ученые честно признаются, что они понятия не имеют, почему С. Г. смогла настолько легко отделаться. Может быть, она феномен – в том смысле, что все ключевые нейронные контуры у нее в принципе с самого начала располагались в мозге не так, как у обычных людей, и поэтому не были затронуты инсультом, хотя должны были бы. Может быть, она феномен с точки зрения способностей к восстановлению функций – большинство тестов проводилось через год после инсульта. Может быть, она феномен с точки зрения резервов мозга – здесь авторы отмечают, что она никогда не пила и не курила, хорошо училась, занималась спортом, рисовала и играла в интеллектуальные игры. Может быть, второй инсульт каким-то образом сыграл роль противовеса первому. (Также может быть, что это все циничная фальсификация, но все-таки вряд ли: журнал приличный, руководитель исследования – серьезный высокоцитируемый ученый, было бы невыгодно так рисковать. Но цитирований у этой его статьи пока мало, потому что она относительно свежая, проверки тех же результатов другими авторами пока нет, так что вы перепроверьте после выхода книжки, может быть, к тому времени что-то прояснится.)

Как бы то ни было, травмы мозга не могут и не должны быть главным источником информации о его функциях. Во-первых, они, к счастью, относительно редко встречаются. Во-вторых, они разные у разных людей. В-третьих, состояние пациентов изменяется, по мере того как проходит время. Все это неизбежно приводит к тому, что исследователи работают с очень маленькими выборками, а то и вовсе с единичными случаями. Поэтому, если бы в распоряжении нейробиологии были только люди с поврежденным мозгом и не было бы никаких экспериментальных методов для перепроверки полученных гипотез, это была бы довольно маленькая, туманная и скучная наука. К счастью, это не так.

Глава 2

Нажми на кнопку – получишь результат

Кордова, Испания, шестидесятые годы, коррида. Само представление еще не началось: на арене пока нет никакого матадора в расшитых золотом шелковых одеждах. Вместо него по полю топчется мужичок средних лет, больше всего похожий на советского инженера: свитер с V-образным вырезом, белая рубашка, мешковатые брюки. У него в руках предметы, которые, вероятно, в ближайшем будущем понадобятся для представления: алое полотнище и еще какая-то штука. Старые черно-белые фотографии и видеозаписи не позволяют сразу разобрать, что это: то ли боевая шпага с причудливой рукоятью, то ли просто небольшая коробочка, из которой торчит длинная антенна.

Но, похоже, произошла трагическая ошибка: именно в эту минуту на сцену внезапно выпускают быка. Он напряжен и готов к бою. Человек как будто бы не осознает опасности – как раз в этот момент он разворачивает красную тряпку (вы знали, что она называется мулетой?), и бык бросается на него. Понятно, что никаких шансов спастись у нетренированного человека нет. Бык мчится, ему осталось преодолеть всего несколько метров, чтобы поднять на рога незадачливую жертву. Кто же этот человек? Как он оказался на сцене? Это реквизитор? Почему он не пытается хотя бы убежать, а спокойно стоит и ждет приближения опасного животного? Он что-то знает? У него заготовлена какая-то хитрость?

По-видимому, да. Подпустив быка почти вплотную, человек совершает какое-то неуловимое движение пальцами – и разъяренный бык мгновенно останавливается с растерянным и оторопевшим видом.

Несостоявшаяся жертва – это нейробиолог Хосе Мануэль Родригес Дельгадо. Коробочка у него в руках – радиопередатчик. Что касается быка, то он был заранее прооперирован: ему в мозг вживили электроды, позволяющие мгновенно подавить агрессию.

“Как они работали? Куда именно их вживили?” – спрашивают на этом месте поколения студентов-нейробиологов. Долгие годы преподаватели ничего не могли им ответить. Дельгадо до такой степени несерьезно отнесся к этому опыту, проходному, сугубо демонстрационному, что, казалось, вообще не удосужился нигде толком описать свою методику, упоминал об этом случае в своих статьях и книгах разве что вскользь, уделяя основное внимание своим разнообразным экспериментам с кошками, обезьянами и людьми.

Контраст между ошеломительной известностью опытов Дельгадо с быками и полным отсутствием обстоятельного их описания удивлял многих нейробиологов, но повезло только чилийцу Тимоти Марцулло. В 2016 году ему удалось познакомиться на конференции в Испании с бывшими коллегами Дельгадо. После обстоятельных расспросов они припомнили, что Дельгадо упоминал свое участие в создании девятитомной энциклопедии, посвященной бою быков. Эта книга вышла в Испании в 1981 году небольшим тиражом, который полностью разошелся среди любителей корриды, и за многие годы никому из них и в голову не пришло, что вот эти подробности опытов с вживленными электродами, скромно притаившиеся в седьмом томе, совершенно уникальны и любой нейробиолог или научный журналист продал бы последнюю рубашку, чтобы о них прочитать.

Теперь возможность снять рубашку с любого нейробиолога, который вам интересен (на этом месте автор задумчиво вздыхает), уже безвозвратно упущена: утерянный текст Дельгадо благополучно найден, опубликован в открытом доступе, подробно пересказан на английском⁶⁰. Дельгадо концентрируется на описании экспериментов с двумя быками – Каetano

⁶⁰ Marzullo, T. C. (2017). The missing manuscript of Dr. Jose Delgado's radio controlled bulls. *Journal of Undergraduate Neuroscience Education*, 15 (2), R29 – R35.

и Люсери. Это были породистые боевые животные, так просто к ним было не приблизиться, усыпляющие препараты приходилось вкалывать с помощью пневматического ружья. Для операций была специально изготовлена подходящая для быков стереотаксическая установка – проволоочный каркас, окружающий голову и позволяющий направить электроды в правильное место. Конкретно их вживляли в моторную кору, таламус и хвостатое ядро – скорее всего, именно последнее играло ключевую роль во влиянии на поведение. Внешнюю часть устройства закрепляли на костях черепа с помощью стоматологического цемента, а рога очень пригодились для того, чтобы примотать к ним приемники радиосигнала.

Никакого атласа бычьего мозга тогда не существовало, электроды вживляли до некоторой степени наугад, так что и результаты у Каэтано и Люсери оказались разными. Каэтано получил что-то вроде радиоуправляемой машинки: когда ему стимулировали левое хвостатое ядро, он поворачивался налево, а когда правое – то направо. Хвостатое ядро в первую очередь участвует в контроле за целенаправленными движениями, но оно также связано с эмоциями и взаимодействует с прилежащим ядром, “центром удовольствия”, так что Дельгадо полагал, что животное вполне могло испытывать радость во время стимуляции – по крайней мере, встревоженным оно не выглядело, крутилось на арене с виду вполне добровольно. А вот в случае более знаменитого быка, Люсери, стимуляция хвостатого ядра⁶¹ приводила к полной остановке деятельности, причем, как было показано с привлечением других животных, не только атаки, но и чего угодно, чем бы ни занимался бык: жевания, ходьбы и так далее. Пока хвостатое ядро получало импульсы от вживленных электродов, Люсери стоял спокойно, опустив хвост, выпрямив шею. Тем временем Хосе Дельгадо отступал в безопасное место, за ограждение, а потом прекращал стимуляцию, и бык снова пытался его атаковать и таранил барьер. Система работала почти без сбоев, хотя Дельгадо и упоминает, что один раз бык все-таки до него добежал – но, к счастью, все же обошлось без серьезных травм. Иначе мир потерял бы многое.

Несбывшаяся антиутопия

Хосе Дельгадо вообще-то разрабатывал свою систему электродов с радиопередатчиками не для того, чтобы эффектно выступить на корриде. У него были иные прикладные задачи.

Если вы работаете с крысами, то вы можете создавать животных, у которых из головы постоянно торчит провод, подключенный к стимулятору. Они могут в таком виде жить месяцами, выполнять любые задания, осваивать лабиринты, нажимать на рычаги и так далее. Другое дело обезьяны. Как только прооперированное животное придет в себя, первым делом оно попытается выдернуть, сломать или перегрызть эту непонятную проволоку, торчащую у него из головы. Единственный выход – держать обезьяну в экспериментальной установке, которая ограничивает движения, но о наблюдении за естественным поведением тут речи не идет, и продолжать такой эксперимент долго тоже невозможно. Радиопередатчик сигнала, в общем, решает все эти проблемы. Он все равно расположен снаружи черепа, но его можно жестко закрепить, обезьяна не сможет повредить его и через некоторое время перестанет обращать на него внимание.

Это позволяет изучать социальное взаимодействие между обезьянами. Например, самец макаки-резуса начинает проявлять агрессию по отношению к сородичам^{62, 63} после стимуляции левого вентрального заднего бокового ядра таламуса (я не призываю вас сейчас вникать в это название, просто подчеркиваю, с какой высокой точностью исследователи размещали

⁶¹ Она проводилась в сочетании со стимуляцией таламуса, но он в основном участвует в обработке сенсорной информации и вряд ли играл ключевую роль в этом случае.

⁶² Delgado, J. M. R. (1965). *Evolution of physical control of the brain*. James Arthur Lecture on the Evolution of the Human Brain. New York, American Museum of Natural History.

⁶³ Delgado, J. M. R. (1966). Aggressive behavior evoked by radio stimulation in monkey colonies. *American Zoologist*, 6, 669–681.

электроды). Но животное не превращается в зомби или робота: нападать оно станет на самцов-конкурентов, способных поставить под сомнение его авторитет, а любимую женщину трогать не станет. Можно, наоборот, вживить электрод в хвостатое ядро, и тогда его стимуляция (как и в случае с быками) будет приводить к остановке текущей деятельности и в том числе к прекращению агрессивных нападков на соседей. В одном из экспериментов Дельгадо предоставил обезьянам возможность самостоятельно управлять своим вожаком: нажимать рычаг, чтобы остановить его агрессию⁶⁴. Подчиненные особи активно пользовались этим инструментом.

С людьми Дельгадо не проводил экспериментов, направленных на изменение поведения, – большинство его вмешательств в мозг были связаны с попытками вылечить тяжелую эпилепсию. Но иногда поведение меняется незапланированно. Дельгадо упоминает⁶⁵, например, трех пациентов, у которых стимуляция височной доли привела к внезапному всплеску романтического интереса к экспериментаторам. Одна женщина пришла в состояние эмоционального возбуждения, заметного со стороны, взяла экспериментатора за руки и стала всячески проявлять к нему нежность и горячо благодарить за его усилия. После следующей стимуляции того же участка она завела с экспериментатором кокетливую беседу о том, что, когда этот прекрасный человек вылечит ее эпилепсию, она была бы не против выйти замуж. Второй пациентке посылали импульсы в мозг в течение часа через каждые 5–10 минут, и все это время ее чувства к экспериментатору неуклонно нарастали. Сначала это был просто дружеский диалог: “Из какой вы страны? Из Испании? Какая чудесная страна”. Потом градус вырос: “Испанцы очень привлекательны”. И наконец: “Я хотела бы выйти замуж за испанца”. Третий пациент, на этот раз юноша, сначала начал абстрактно говорить о своем желании жениться, но по мере продолжения стимуляции выразил сомнения в своей сексуальной ориентации и намекнул на желание пожениться с экспериментатором-мужчиной. Обратите внимание, какими трогательно высоконравственными были люди в начале шестидесятых: ни один из испытуемых не заговорил о сексе, зато все трое заговорили о свадьбе. Видимо, в те времена считалось хорошим тоном начинать логическую последовательность именно с нее.

⁶⁴ Delgado, J. M. R. (1963). Cerebral heterostimulation in a monkey colony. *Science*, 141 (3576), 161–163.

⁶⁵ Delgado, J. M. R. (1965). *Evolution of physical control of the brain*. James Arthur Lecture on the Evolution of the Human Brain. New York, American Museum of Natural History.



В исследованиях Дельгадо стимуляция человеческого мозга приводила и к другим интересным эффектам: люди становились более дружелюбными и разговорчивыми, или испытывали галлюцинации, или просто наслаждались приятными ощущениями. “Теоретически возможно регулировать агрессию, или продуктивность, или сон за счет электродов, вживленных в мозг, – говорит Дельгадо. – Но эта технология требует специализированных знаний, отточенных навыков, детального и комплексного обследования каждого человека из-за анатомической и физиологической вариабельности. Осуществимость массового контроля за поведением с помощью стимуляции мозга крайне маловероятна”.

Ну и на том спасибо. Но вот попытки контроля за поведением отдельных людей некоторые современники Дельгадо предпринимали. Конечно, в большинстве случаев это было связано с поиском способов лечения тяжелых психических заболеваний⁶⁶. Стимуляция мозга рассматривалась как более гуманная и более современная (речь идет о шестидесятых-семидесятых годах прошлого века) альтернатива лоботомии, но, как и лоботомия, была далека от идеала. Вскоре от нее отказались при лечении большинства заболеваний – это стало возможным

⁶⁶ Hariz, M. I. et al. (2010). Deep brain stimulation between 1947 and 1987: the untold story. *Journal of Neurosurgery*, 29 (2), E1.

благодаря постепенному появлению новых, более эффективных способов фармакологического воздействия на психически больных людей.

Но, конечно, я не могу не рассказать вам и впечатляющую историю про дикие старинные нравы. Вот представьте: начало 1970-х, к вам поступает пациент, страдающий от эпилепсии, тяжелой депрессии с попытками суицида, ипохондрии, абсолютной апатии, приступов паранойи. Он не окончил школу, нигде подолгу не работал. Часто употреблял наркотики. Не умеет строить отношения с людьми: одновременно старается их избегать и плохо переносит недостаток внимания. Да, а еще он гей. На решении какой его проблемы вы сконцентрируетесь? Чарлз Моун и Роберт Хит, к которым попал этот пациент, решили, что надо бы для начала поменять ему сексуальную ориентацию^{67, 68}. С этой целью они вживили ему электроды в септальную область (это еще одна зона мозга, тесно связанная с удовольствием, в дополнение к прилежащему ядру, которое я тут все время упоминаю). Через два месяца, когда все зажило, убедились, что электростимуляция септальной области действительно вызывает у человека приятные ощущения. Еще через месяц приступили к терапии.

Для начала пациенту, обозначенному в записях кодом В-19, показали гетеросексуальный порнофильм, не стимулируя мозг. Он был не заинтересован, а раздражен. Изменений в его электроэнцефалограмме по ходу фильма не было; доля альфа-волн, характерных для людей спокойных и расслабленных, выросла после того, как фильм, наконец, закончился.

В-19 был вознагражден за свои страдания: вскоре ему начали на три часа в день предоставлять возможность самостоятельно стимулировать свою септальную область. В один из таких сеансов он нажал на кнопку 1500 раз (в среднем каждые 7 секунд). Он чувствовал наслаждение, бодрость, душевное тепло, а еще сексуальное возбуждение, сопровождавшееся желанием мастурбировать. Когда у него забирали стимулятор, он всегда протестовал и требовал дать ему нажать на кнопку еще хотя бы несколько раз.

В целом у пациента значительно улучшился характер, отмечают Моун и Хит. Он охотно шел на сотрудничество с врачами и был вежлив и доброжелателен с персоналом. (Ну еще бы! Я тоже была бы доброжелательна к людям, от которых зависит мое ежедневное трехчасовое счастье.) Среди прочего он сообщил исследователям о том, что испытывает интерес к одной из сотрудниц, а также согласился снова посмотреть гетеросексуальное порно, и мастурбировал, и испытал оргазм. Еще через несколько дней восхитительной стимуляции мозга В-19 сообщил, что ему могло бы быть интересно попробовать секс с женщиной (впервые в жизни). Для этой цели исследователи пригласили проститутку, объяснили ей ситуацию и, предварительно подбодрив пациента двадцатисекундной стимуляцией септальной области, оставили будущих любовников наедине. У пациента В-19, заметим, из головы торчали провода: электроды ему вживили не только в септальную область, но и еще в несколько участков мозга, и они использовались для постоянного мониторинга электрической активности. Исследователи трогательно отмечают, что специально для такого случая они сделали провода подлиннее, чтобы они не мешали В-19 двигаться.

В течение первого часа наедине с девушкой В-19 убеждал ее, что он, во-первых, плохой человек (и лучше с ним не связываться), а во-вторых, вообще гей. Она утешала его и постепенно придвигалась ближе. К концу часа она сняла платье; В-19 тем временем сообщил, что настроение его улучшилось и он чувствует что-то вроде возбуждения. Девушка разделась и предложила В-19 исследовать ее тело, показывала ему, как трогать ее грудь и половые органы. Постепенно В-19 втянулся: стал задавать вопросы и стараться гладить ее хорошо. Тогда она начала его возбуждать, и хотя В-19 оставался сдержанным, все-таки эрекция наступила,

⁶⁷ Heath, R. G. (1972). Pleasure and brain activity in man. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 154 (1), 3–18.

⁶⁸ Moan, C. E. & Heath, R. G. (1976). Septal stimulation for the initiation of heterosexual behavior in a homosexual male. In: *Behavior Therapy in Psychiatric Practice*, Ed. by Wolpe & Reyna, Pergamon Press Inc.

девушка села на него сверху и через некоторое время достигла оргазма (по крайней мере, и В-19, и исследователи в это поверили). Это вызвало у В-19 всплеск энтузиазма, он предложил поменять позу, чтобы перехватить инициативу, и через некоторое время кончил. После этого всячески демонстрировал свое восхищение девушкой и выражал надежду, что они встретятся снова.

Вскоре его выписали из больницы (и электроды, видимо, из головы вытащили, хотя в статьях об этом прямо не говорится). Приходя на консультации, В-19 говорил, что нашел подработку, записался на стажировку для последующего поиска постоянной работы и завел роман с замужней женщиной (исследователи скрупулезно описывают, какие именно формы сексуальной активности, со слов В-19, практиковала пара). Что касается мужчин, то с ними В-19, по его словам, за 11 месяцев отчетного периода спал буквально пару раз и только ради денег. На этом история заканчивается, а Моун и Хит гордо рапортуют, что лечить гомосексуальность надо не с помощью аверсивной терапии (например, ударами тока во время просмотра фотографий мужчин, как делали их коллеги в то время), а добром и любовью. И то верно: добрым словом и электрическими разрядами в септальную область можно добиться гораздо большего, чем просто добрым словом. Дальнейшая судьба В-19, впрочем, неизвестна. Зато известна судьба многих современных пациентов.

Люди-киборги

На самом деле лечение с помощью вживленных электродов давно стало рутинным. Вы сто раз про него слышали, просто могли не задумываться о его природе. Конечно, сейчас я говорю о кохлеарных имплантатах – устройствах, которые возвращают человеку способность слышать.

Если задуматься, любые рецепторные клетки решают одну и ту же задачу: переводят разнообразные сигналы из внешнего мира на универсальный, понятный мозгу язык электрических импульсов. На входе может быть что угодно: фотоны, если это клетка-колбочка; молекулы, если клетка обонятельного эпителия; механические колебания, если волосковая клетка внутреннего уха. На выходе всегда получаются нервные импульсы. По их частоте и по тому, от каких именно клеток они поступают, мозг может делать выводы о том, что происходит в мире. Потенциально это позволяет восстанавливать работу любых утраченных органов чувств (по большому счету мозгу вообще неважно, есть ли у него тело, – мозгу важно, чтобы он получал такие электрические импульсы, как будто бы у него есть тело), но задача эта технически непростая. Самых больших успехов человечество на сегодня добилось именно в воссоздании слуха.

Вот у нас есть внешний мир, а в нем звуки – колебания воздуха. Эти колебания передаются на барабанную перепонку, потом на слуховые косточки, а потом в главную часть слухового органа, улитку внутреннего уха. Там есть волосковые клетки – слуховые рецепторы, которые, как следует из названия, обладают волосками, особыми тонкими выростами, способными отклоняться в результате механических воздействий. Это, в свою очередь, приводит к тому, что волосковая клетка открывает мембранные каналы, запускает каскад внутриклеточных изменений и в конце концов выбрасывает во внешнюю среду глутамат – нейромедиатор, который уже воспринимается настоящими нервными клетками.

Существенно здесь то, что эта система конструктивно неспособна кодировать частоту звука непосредственно, по принципу “сколько пришло колебаний, столько и отправим нервных импульсов”. Мы, люди, умеем воспринимать довольно высокочастотные звуки, вплоть до 20 000 Гц. В то же время наши нервные клетки умеют генерировать нервные импульсы не чаще одного раза в миллисекунду, то есть на частоте 1000 Гц, а обычно и того меньше: клеткам нужно время, чтобы открывать-закрывать мембранные каналы, восстанавливать кон-

центрацию ионов по обе стороны мембраны и вообще приходить в себя⁶⁹. Поэтому, для того чтобы закодировать частоту звука, в нашей слуховой системе используется просто положение волосковых клеток внутри улитки. Чем ближе они к началу улитки, тем сильнее они возбуждаются в ответ на звуки высокой частоты; чем дальше вглубь, тем сильнее возбуждаются на низкочастотные звуки. В основном это обусловлено механическими свойствами базилярной мембраны, на которой находятся клетки-рецепторы: она узкая и жесткая в начале, широкая и гибкая в конце, и из-за этого колебания разных частот достигают на ней максимальной амплитуды в разных местах⁷⁰.

Чувствительные окончания слухового нерва подсоединены к улитке по всей ее длине. При этом мозг ожидает, что если он получил самый сильный сигнал от нервного окончания в начале улитки, значит, это у нас звук высокой частоты; а если в конце улитки, то, соответственно, низкой частоты. Это удобное свойство (оно называется “топотопическая организация”) позволяет подключиться к этим чувствительным окончаниям слухового нерва непосредственно – в том случае, если волосковые клетки у человека погибли.

Кохлеарный имплантат состоит из двух частей: съемной внешней и вживленной внутренней. Они удерживаются вместе с помощью магнита. Внешняя часть содержит микрофон, преобразователь звука и радиопередатчик. Внутренняя часть завершает процесс обработки сигнала, сортирует его по частотам и отправляет импульсы на стимулирующие электроды (в современных устройствах их от 16 до 22). Все электроды закреплены в гибком силиконовом стержне, введенном внутрь улитки. Высокие частоты передаются туда, где мозг ожидает обнаружить высокие частоты. Низкие – туда, где низкие.

Конечно, этот прибор не позволяет воссоздать все богатство звуковой гаммы. Носители кохлеарных имплантатов способны распознавать мелодии заметно хуже, чем обычные люди, и часто полностью перестают слушать музыку, так как она больше не приносит им эстетического наслаждения⁷¹. Но принципиально, что кохлеарного имплантата достаточно для восприятия человеческой речи. Даже если ребенок был глухим от рождения, с имплантатом он способен научиться понимать собеседников и говорить самостоятельно. Исследователи не дают конкретных рекомендаций насчет оптимального возраста для вживления электродов, подчеркивая большие индивидуальные различия между испытуемыми^{72, 73}, но в целом работает принцип “лучше не затягивать”: тому, кто обрел слух в два года, будет проще научиться говорить, чем тому, кто получил его в четыре; им обоим будет намного проще, чем ребенку, прооперированному в восемь лет, но даже он будет обладать серьезными преимуществами по сравнению с тем человеком, чью операцию отложили до двенадцати.

Активно разрабатываются и имплантаты для борьбы со слепотой. Принцип в том, чтобы переводить изображение от видеокамеры, прикрепленной к очкам, или от вживленной прямо в глазное яблоко решетки с фотодиодами в электрические импульсы. Они, в свою очередь, передаются на нейроны сетчатки. Или в латеральное коленчатое тело таламуса (промежуточную станцию обработки зрительной информации). Или прямо в зрительную кору. Сегодня уже есть устройства, одобренные для клинического применения⁷⁴, и еще больше новых подхо-

⁶⁹ Подробности о том, как работают нейроны, будут в следующих главах, а еще в “Кратком курсе нейробиологии” в конце книги. Там много красивых длинных слов типа “ Na^+/K^+ аденозинтрифосфатаза”, и я не знаю, удобно ли вам вникать в детали прямо сейчас; если вы, скажем, едете в метро, то вряд ли. Для восприятия основного текста это полезно, но совершенно необязательно.

⁷⁰ LeMasurier, M. & Gillespie, P. G. (2005). Hair-cell mechanotransduction and cochlear amplification. *Neuron*, 48 (3), 403–415.

⁷¹ McDermott, H. J. (2004). Music perception with cochlear implants: a review. *Trends in amplification*, 8 (2), 49–82.

⁷² Peterson, N. R. et al. (2010). Cochlear implants and spoken language processing abilities: review and assessment of the literature. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 28 (2), 237–250.

⁷³ Svirsky, M. A. et al. (2000). Language development in profoundly deaf children with cochlear implants. *Psychological Science*, 11 (2), 153–158.

⁷⁴ Finn, A. P. et al. (2018). Argus II retinal prosthesis system: a review of patient selection criteria, surgical considerations, and

дов обсуждается, патентуется и испытывается на животных. Но пока что разработчики сталкиваются с гигантским количеством технических проблем⁷⁵. Для сколько-нибудь качественного распознавания образов нужно вживить очень много электродов близко друг к другу. Часть из них будет выходить из строя, нервные клетки будут гибнуть, и, в конце концов, вся эта система от многочасовой работы просто будет сильно нагреваться, что тоже не очень-то полезно для живой ткани. Поэтому на сегодняшний день человек с таким имплантатом может в лучшем случае определять направление источника света и отмечать крупные движущиеся объекты. Ни об узнавании предметов, ни тем более о чтении речь пока не идет.

Значительно лучше обстоят дела с теми заболеваниями, для лечения которых не нужна ювелирная точность вживления электродов в конкретный нейрон, а достаточно простимулировать какую-то относительно крупную область мозга. В конце восьмидесятых французские ученые Алим-Луи Бенаби и Пьер Поллак сосредоточились на вживлении электродов для борьбы с болезнью Паркинсона – и достигли в этом таких впечатляющих успехов, что им даже иногда приписывают само изобретение глубокой стимуляции мозга⁷⁶.

Открытие, как это нередко бывает, отчасти было случайным⁷⁷. Исходно Бенаби занимался хирургическим лечением болезни Паркинсона. К тому моменту было известно, что удаление вентрального промежуточного ядра таламуса приводит к ослаблению симптомов, в частности к снижению тремора, и эта процедура часто применялась к пациентам, не отвечавшим на лекарственную терапию. Для разрушения участка мозга Бенаби использовал радиочастотную абляцию: в нервную ткань вводят электрод и пропускают через него переменный ток высокой частоты (около 500 кГц). В электрическом поле, окружающем проводник, все заряженные частицы – а их в мозге много! – начинают очень быстро двигаться туда-сюда, соответственно, происходит локальное повышение температуры, приводящее к разрушению выбранного участка. Такой метод менее травматичен для окружающего мозга, чем обычная операция⁷⁸. Но перед тем как запускать процесс разрушения, важно убедиться, что электрод попал туда, куда нужно. Для этого на него – или на несколько электродов, введенных в приблизительно окрестности искомой точки, – сначала подают ток более низкой частоты (например, 100 Гц) и наблюдают за реакциями и движениями пациента. И выяснилось, что такая стимуляция сама по себе способна ослабить тремор и улучшить координацию движений, например при письме (пациенты во время операции находятся в сознании, применяется только местная анестезия). В таком случае, может быть, и не обязательно ничего разрушать?

Честно говоря, это пробовали проверять и предшественники Бенаби. Когда вы читаете об истории любого открытия, всегда полезно иметь в виду, что все стоит на плечах гигантов, каждая “самая первая” статья об исследовании всегда ссылается на предыдущие попытки⁷⁹ сделать то же самое. Но именно Бенаби удалось подобрать и систематически исследовать такие параметры стимуляции, чтобы эффект от нее был максимальным и сопоставимым по эффективности с разрушением участка мозга. Это дало толчок лавине новых исследований как самого Бенаби, так и его последователей. За прошедшие годы методология заметно изменилась: вместо вентрального промежуточного ядра таламуса теперь стимулируют субталамическое ядро, а вместо переменного тока могут применять и постоянный. Это дополнительно уси-

post-operative outcomes. *Clinical Ophthalmology*, 12, 1089–1097.

⁷⁵ Lewis, P. M. et al. (2015). Restoration of vision in blind individuals using bionic devices: a review with a focus on cortical visual prostheses. *Brain Research*, 1595, 51–73.

⁷⁶ Hariz, M. I. et al. (2010). Deep brain stimulation between 1947 and 1987: the untold story. *Journal of Neurosurgery*, 29 (2), E1.

⁷⁷ Benabid, A. L. et al. (1987). Combined (thalamotomy and stimulation) stereotactic surgery of the VIM thalamic nucleus for bilateral Parkinson disease. Proceedings of the Meeting of the American Society for Stereotactic and Functional Neurosurgery, Montreal.

⁷⁸ Cosman, E. R. Sr. & Cosman, E. R. Jr. (2009). Radiofrequency Lesions. In: Lozano A. M., Gildenberg P. L., Tasker R. R. (eds.) *Textbook of Stereotactic and Functional Neurosurgery*. Springer, Berlin, Heidelberg.

⁷⁹ Andy, O. J. (1983). Thalamic stimulation for control of movement disorders. *Applied Neurophysiology*, 46, 107–111.

лило ту магию, которую наблюдал Бенаби: пока стимулятор выключен, человека с болезнью Паркинсона непрерывно бьет крупная дрожь, руки ходят ходуном, выполнять какие-либо действия невозможно. Как только вы включаете стимулятор, человек сразу же возвращает себе контроль над движениями.

Симптомы болезни Паркинсона: сильный тремор, ригидность мышц, неустойчивость, трудности с координацией движений – обусловлены гибелью нейронов, вырабатывающих дофамин. Электрическая стимуляция, к сожалению, не воскрешает эти нейроны, но, по видимому, максимизирует выброс дофамина теми, что остались в живых. То есть речь идет не о полном излечении болезни, но все-таки о серьезном улучшении качества жизни пациентов. Если у вас есть под рукой интернет, обязательно посмотрите на Ютубе какой-нибудь ролик по запросу *Parkinson deep brain stimulation*, это правда потрясающее зрелище.

Несколько лет назад вживление электродов в субталамическое ядро пациентов с болезнью Паркинсона было официально одобрено FDA⁸⁰. В ключевом исследовании⁸², на которое опирались эксперты, электроды вживили 136 пациентам, страдавшим от выраженных двигательных нарушений по крайней мере в течение 6 часов в день. Те из них, кому повезло попасть в экспериментальную группу (а не в контрольную, не получавшую стимуляции), сообщили о том, что время, в течение которого они чувствовали себя хорошо и не испытывали серьезных проблем с координацией движений, возросло в среднем на 4,27 часа в день, – а это серьезный выигрыш в качестве жизни.

Болезнь Паркинсона – не единственная медицинская проблема, с которой может помочь справиться глубокая стимуляция мозга. Ее можно также применять для лечения обсессивно-компульсивного расстройства и эпилепсии (здесь тоже уже есть одобрение FDA), а исследования проводятся и для ряда других заболеваний: синдрома Туретта, депрессии, биполярного аффективного расстройства и головной боли⁸¹. Во всех случаях это крайняя мера, к которой обращаются тогда, когда перепробовали все остальные методы и ничего не помогло. Во всех случаях речь идет не об абсолютном излечении, а об ослаблении симптомов. Вживление электродов – далеко не рядовая повседневная процедура, она требует очень высокой квалификации врачей и не бывает полностью безопасной. Но сама возможность такого лечения напоминает нам, что мозг – материален. Если в нем есть проблема, то во многих случаях возможно найти, где она локализована, и подействовать на этот участок, чтобы он начал работать по-другому. Это не просто и вряд ли когда-нибудь станет просто, но это осуществимо уже сегодня.

Важно помнить и другое. Вживленный электрод – в прямом смысле палка о двух концах. С его помощью можно подавать электрические импульсы, чтобы изменить работу какого-то участка мозга, а можно, наоборот, регистрировать те паттерны электрической активности, которые мозг генерирует совершенно самостоятельно. Это важно не только для исследований мозга, но и для решения медицинских задач. Например, для создания роботизированных протезов, которыми можно управлять напрямую с помощью собственного мозга.

В 2004 году молодой американец Тим Хеммес ехал на мотоцикле и попал в аварию. В результате все его конечности оказались парализованы. Но он не впал в уныние: в видеорепортаже Питтсбургского университета он приезжает в лабораторию хоть и в инвалидном кресле, но зато в хорошей компании: его сопровождает дочь, родившаяся незадолго до ката-

⁸⁰ Okun M. S. et al. (2012). Subthalamic deep brain stimulation with a constant-current device in Parkinson's disease: an open-label randomised controlled trial. *The Lancet Neurology*, 11, 140–149.

⁸² Altinay M. et al. (2015). A comprehensive review of the use of deep brain stimulation (DBS) in treatment of psychiatric and headache disorders. *Headache*, 55 (2), 345–50.

⁸¹ *Food and Drug Administration*, Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов, – подразделение американского Минздрава, известное во всем мире своей строгостью в отношении новых процедур лечения. Когда про что-то говорят “одобрено FDA”, это означает “признано эффективным и относительно безопасным”.

строфы (уже школьница), и ее мама. В комнате для экспериментов Тима ждет еще и его девушка Кэти. Неудивительно, что у него получается поддерживать хорошие отношения со всеми, потому что даже в интервью, посвященном его роботизированной руке, он фокусируется именно на эмоциональном контакте с близкими, на том, как важно для него самому обнять дочь и самому протянуть руку Кэти – в первый раз за всю историю их отношений.

Такая возможность появилась у парализованного Тима благодаря исследованиям нейробиолога Энди Шварца и его коллег. Еще в 2008 году они научили обезьян манипулировать роботизированной рукой с пятью степенями свободы (вращение плеча в трех плоскостях, сгибание локтя, хватательное движение кисти) достаточно эффективно, чтобы брать кусочки еды и класть их себе в рот⁸³. На самом деле учить требовалось не столько обезьян, сколько компьютер, который должен был расшифровывать сигналы, поступающие от моторной коры, и передавать их на шарниры роботизированной руки таким образом, чтобы обезьяна действительно могла делать то, что хочет. Получилось неплохо: уже в первый день тренировки обезьяна успешно донесла еду до рта в 67 попытках из 101 предпринятой.

В случае Тима адаптация к роботизированной руке заняла больше времени и дала меньше возможностей. Во-первых, в его случае электроды не вживляли в кору, а фиксировали на поверхности мозга. Во-вторых, обезьяна не переставала пользоваться собственной рукой, а вот Тим попал в лабораторию только через семь лет после автокатастрофы. Работа началась с того, что ему делали функциональную магнитно-резонансную томографию, показывая видео движений руки; он должен был мысленно представлять, как повторяет их. Это позволило понять, как Тим управляет движениями плеча и локтя, чтобы правильно разместить электроды для кортикографии – 32 платиновых диска на силиконовом лоскуте размером 2 на 4 сантиметра – поверх моторной коры. В течение месяца после этого он учился правильно думать о движениях. Он смотрел видеозаписи движений и пытался мысленно их повторять. Наблюдал за собственной электрокортикограммой и учился целенаправленно вызывать в ней всплески активности. Учился двигать силой мысли курсор на экране компьютера в двухмерном и в трехмерном пространстве. Только после этого ему передали управление рукой – и тренируемый Тим действительно сразу смог указывать ею на нужные объекты и протягивать ее своей девушке.

На этом, собственно, его возможности заканчивались. В ходе самого первого эксперимента, в 2011 году, Тима не пытались научить даже совершать хватательные движения кистью. Только плечо и локоть, только силиконовый лоскуток с электродами на поверхности мозга, без углубления в кору. “Мы намеревались только провести быструю демонстрацию, а более интенсивные исследования были невозможны из-за ограниченной длительности эксперимента”, – невозмутимо поясняют исследователи⁸⁴.

Что происходит дальше именно с Тимом, неизвестно: публичность его не вдохновила, и с момента первого испытания роботизированной руки он, по-видимому, общался со СМИ всего один раз, когда собирал деньги на новый микроавтобус для своей семьи. По научным статьям его судьбу тем более не проследить: в них не указывают имена участников исследований. Но в целом лаборатория Энди Шварца процветает и регулярно публикует отчеты о новых успехах. В 2013 году ученые представили широкой общественности своего следующего пациента, Джен Шерман. Ей вживили в моторную кору две пластинки с микроэлектродами, по 96 штук на каждой. Это позволяет записывать сигналы с гораздо более высокой точностью, так что через 13 недель тренировок Джен свободно управляла роботизированной рукой с семью степенями свободы (движение и вращение в трех плоскостях, плюс захват предметов)⁸⁵, а через

⁸³ Veliste, M. et al. (2008). Cortical control of a prosthetic arm for self-feeding. *Nature*, 453 (7198), 1098–101.

⁸⁴ Wang, W. et al. (2013). An electrocorticographic brain interface in an individual with tetraplegia. *PLOS One*, 8 (2), e55344.

⁸⁵ Collinger, J. L. et al. (2013). 7 degree-of-freedom neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia. *Lancet*, 381 (9866),

17 недель те же электроды позволили ей овладеть уже другим протезом, с десятью степенями свободы (включающими разные положения пальцев)⁸⁶. На видеозаписях, которыми исследователи щедро сопровождают свои статьи, видно, как Джен перекладывает с места на место разнообразные мелкие предметы, строит пирамидки, вытряхивает мячик из стакана в чашку, а еще – на радость журналистам – подносит ко рту плитку шоколада и откусывает от нее.

Теперь Джен учится управлять с помощью своих электродов авиасимулятором (вряд ли ей уже доведется летать за штурвалом настоящего самолета, но даже играть в компьютерные игры – хорошая возможность для человека, который 13 лет был абсолютно беспомощным), а перед журналистами отдувается следующий пациент, согласившийся на публичность, – Натан Копланд. В 2016 году он прошел через имплантацию четырех пластинок с микроэлектродами. Две из них, как и в случае Джен, были вживлены в моторную кору, но еще две – в сенсорную. Часть ладони роботизированной руки теперь обрела чувствительность. Натан способен с завязанными глазами сказать, к какому из пальцев прикасаются экспериментаторы, и в большинстве случаев определяет верно. Чувства, которые он испытывает при стимуляции его сенсорной коры с помощью вживленных электродов, не совсем такие, как если бы исследователи прикасались к его настоящей руке⁸⁷. Из 250 прикосновений всего 12 Натан охарактеризовал как “практически естественные”, 233 – “возможно, естественные” и 5 – “скорее неестественные”. Чаще всего (в 128 случаях из 190, которые он не затруднился описать в деталях) он ощущает давление, на втором месте (79 случаев) – пощипывание, третье место делят между собой чувство тепла и чувство слабого электрического разряда (30 и 29 случаев соответственно). Во всяком случае, ему ни разу не было больно.

Роботизированные протезы (а со временем, будем надеяться, и целые экзоскелеты), управляемые с помощью вживленных электродов, – это весьма многообещающая технология, но до того момента, как она перейдет из лабораторных экспериментов в повседневную жизнь парализованных людей, предстоит решить еще множество технических проблем⁸⁸. Люди могут жить с имплантированными электродами по несколько лет, но качество передачи сигнала нестабильно и снижается со временем. Мозг живой и постоянно изменяется, что отчасти хорошо (потому что человек бессознательно учится активировать именно те нейроны, от которых поступает самый четкий сигнал к электродам), но в значительной степени плохо, потому что нужные нейроны могут погибнуть или же рост глиальных клеток⁸⁹ может просто оттеснить их подальше от электрода, и сигналы от них перестанут распознаваться. Сама компьютерная обработка сигнала требует регулярной калибровки, то есть невозможно просто привинтить роботизированную руку к инвалидному креслу пациента и отпустить его заниматься своими делами: ученым все равно будет необходимо встречаться с ним каждый день, чтобы настраивать систему, иначе движения роботизированной руки быстро станут хаотическими и бесполезными. Тим, Джен и Натан, как и другие пациенты департамента нейробиологии Питтсбургского университета, соглашаясь на операцию и многонедельные тренировки, отдают себе отчет в том, что лично их жизнь это улучшит разве что в смысле общения с хорошими учеными и получения необычного опыта. До того момента, когда роботизированные руки можно будет использовать постоянно и в любом месте, эти пациенты, честно говоря, могут и не дожить. Тем

557–564.

⁸⁶ Woodlinger, B. et al. (2015). Ten-dimensional anthropomorphic arm control in a human brain-machine interface: difficulties, solutions and limitations. *Journal of Neural Engineering*, 12 (1), 016011.

⁸⁷ Flesher, S. et al. (2016). Intracortical microstimulation of human somatosensory cortex. *Science Translational Medicine*, 8, 361ra141.

⁸⁸ Downey, J. E. et al. (2018). Intracortical recording stability in human brain-computer interface users. *Journal of Neural Engineering*, 15 (4), 046016.

⁸⁹ В мозге есть не только нейроны, но и клетки-няньки, которые о них заботятся. Они страшно недооценены, про них никто никогда ничего не рассказывает; я постараюсь хотя бы отчасти исправить эту несправедливость в “Кратком курсе нейробиологии”.

больше восхищения они заслуживают, когда день за днем зажимают камешки и пирамидки в своем роботизированном кулаке: маленький захват для человека, огромный захват для человечества.

Альтернативный подход к восстановлению движений у парализованных людей – это функциональная электрическая стимуляция. Она возможна благодаря тому, что мышцы, как и нейроны, электрически активны. Можно подать на них электрические стимулы, и мышцы будут сокращаться. А можно, наоборот, записать электрические сигналы от сокращающихся мышц – еще и намного более сильные, чем от мозга. Соответственно, в классическом варианте функциональная электрическая стимуляция подразумевает передачу сигнала от одних мышц человека – тех, над которыми он сохранил контроль, – к тем, над которыми контроль потерян. Например, вы надуваете щеку, и ваша парализованная рука совершает хватательное движение. Это хорошая технология, во многих случаях она помогает людям управлять конечностями, а также восстанавливать контроль над мочеиспусканием и дефекацией. Но все равно есть проблемы. Во-первых, возможности функциональной электрической стимуляции зависят от того, как много осталось мышц, которыми человек способен управлять. Во-вторых, неизбежны ложные срабатывания, когда человек всего лишь хочет использовать контролируемые мышцы по их прямому назначению. В-третьих, это требует долгого и не всегда успешного обучения; такое управление своим телом антиинтуитивно.

Поэтому здорово, что в 2017 году сотрудники Университета Кейс-Вестерн-Резерв выпустили статью⁹⁰ о том, что они совместили функциональную электрическую стимуляцию с вживлением электродов в моторную кору. Пациент, переживший травму шейного отдела спинного мозга и утративший подвижность всех четырех конечностей, прошел через операцию, аналогичную той, которую проводили с Джен Шерман. Первоначально он учился пользоваться вживленными электродами, чтобы управлять виртуальной рукой на экране компьютера. Еще одним подготовительным этапом была стимуляция мышц руки внешними электрическими импульсами – по восемь часов в неделю в течение 27 недель, – просто чтобы вернуть мышцам силу, утраченную за годы паралича. Но главное – пациенту вживили под кожу руки 36 стимулирующих электродов и соединили их с чувствительными электродами, анализирующими электрическую активность мозга. К сожалению, не напрямую: провода все равно выходили из головы, тянулись к компьютеру, декодирующему сигнал, затем к усилителю сигнала и только после этого на мышцы руки. Ее движения все равно были менее точными, чем в случае виртуальной конечности, – и даже менее точными, чем у роботизированной руки Джен. Это практически неизбежно: настоящая рука – тяжелая, громоздкая и неповоротливая, очень сложно управлять ей аккуратно, когда мозг не получает обратной связи от мышц и суставов. Но все же пациент уже за 15 часов практики научился подносить ко рту кружку с кофе и пить его через соломинку и есть картофельное пюре вилкой. Безо всякого робота. Своей рукой.

Царь зверей

Понятно, что любые эксперименты с вживлением электродов людям в наше время проводятся строго по медицинским показаниям. Только тогда, когда есть надежда улучшить жизнь человека и при этом он сам осознает, в какой степени она обоснована, и добровольно соглашается принять все риски, связанные с операцией и вмешательством в мозг. Если вы просто хотите получить какую-то новую информацию о работе нервной системы без отчетливой прикладной пользы (хотя бы потенциальной), то, даже если вы убедите добровольцев в этом участвовать, этический комитет университета не разрешит вам ничего делать. Даже если вы

⁹⁰ Ajiboye, A. B. et al. (2017). Restoration of reaching and grasping movements through brain-controlled muscle stimulation in a person with tetraplegia: a proof-of-concept demonstration. *Lancet*, 389 (10081), 1821–1830.

каким-то образом ускользнете от его внимания и проведете свой дьявольский эксперимент, вы не сможете его опубликовать.

С животными проще. Их интересы этические комитеты университетов тоже охраняют, но исходят там немного из другой расстановки ценностей: важно не то, принесет ли вмешательство пользу самому подопытному, а то, может ли оно в перспективе открыть новые идеи или дать новые отработанные технологии, чтобы принести пользу людям. Я разделяю эту точку зрения, вы не обязаны со мной соглашаться; если вы мой постоянный читатель, то помните, что этические проблемы, связанные с экспериментами на животных, подробно обсуждались в книжке “В интернете кто-то неправ!”. Здесь приведу только аналогию: когда наша иммунная система формирует антитела, она использует механизм совершенно случайного перебора вариантов, делает горы белков, которые совершенно неизвестно для чего пригодятся, и большинство из них действительно не пригодится никогда. Но когда в организм попадает совершенно новый вирус, то благодаря вот этому случайному хаотическому перебору обычно выясняется, что у нас уже есть какие-то антитела, способные с ним связаться и замедлить его распространение в организме, и именно их можно “допилить”, чтобы иммунная система оказалась способна полностью справиться с болезнью. Так и тут: наука – это защитная система общества, она придумывает, как спасти нас от голода, болезней, бедности, зимы и вселенской скорби. Она не всегда видит прямые и четкие пути, как это сделать, во многих случаях она просто накапливает данные, разрабатывает методы, проверяет гипотезы одну за другой, и каждое такое действие повышает вероятность того, что, когда какая-то проблема встанет остро или когда, наоборот, выплывут какие-то новые возможности, у человечества уже окажется заранее разработанный набор инструментов, позволяющий справиться с неожиданной ситуацией. Опыты на животных могут быть относительно простыми (“Зачем это проверять? И так гипотетически понятно!”) или зубодробительно сложными (“Да это никогда не войдет в практику! Что вы время и деньги тратите?”), но фокус в том, что далеко не всегда возможно заранее отличить одно от другого. И никогда заранее не известно, где, когда и как это полученное знание окажется критически важным.

Вот пример того, что кажется простым: радиоуправляемые крысы. Принцип действия и правда незамысловатый: в мозг подопытных вживлены три электрода, означающие “направо”, “налево” и “вот тебе вознаграждение”. Первые два стимулировали соматосенсорную кору в той области, которая обрабатывает сигналы от вибрисс (усов), то есть у крысы возникало такое чувство, как будто бы что-то прикасается к ее вибриссам – справа или слева соответственно. Третий электрод, самый важный, был вживлен в медиальный пучок переднего мозга, то есть в нервные волокна, передающие возбуждение к прилежащему ядру (“центру удовольствия”). После того как такая система выстроена, крысу можно за несколько экспериментальных сессий натренировать делать то, чего вы от нее хотите. Сначала вы можете вознаграждать ее каждый раз, когда она просто идет вперед (и если вы будете увеличивать интенсивность стимуляции, то животное будет соглашаться идти вперед даже в не предназначенных для этого условиях, например если нужно одновременно карабкаться вверх). Потом дополнительно приучаете поворачивать направо при стимуляции правой соматосенсорной коры и налево – при стимуляции левой и вознаграждаете и это тоже. Как только животное поймет правила игры, вы можете запустить его в любой новый лабиринт и провести через него самым быстрым и разумным путем. При этом вы управляете крысой с ноутбука, а микростимулятор она несет сама – в рюкзаке. Это позволяет животному удаляться от ноутбука на 500 метров и все еще быть управляемым. В конце статьи, опубликованной в 2002 году, ученые обещают, что такие крысы в скором времени начнут использоваться для поиска людей под завалами. До этого, кажется,

на практике пока так и не дошло, но, по крайней мере, такие головокружительные перспективы помогли исследователям опубликоваться в хорошем журнале⁹¹.

Есть задача и посложнее – создание радиоуправляемых летающих насекомых. Дело в том, что насекомые прекрасны и восхитительны с инженерной точки зрения. Они очень энергоэффективны. Механический летающий робот, созданный человеком, может весить три грамма и при этом лететь куда-нибудь в течение трех минут – потом садится батарейка, и так составляющая треть его веса. Муха весит меньше и летает значительно дольше. Неудивительно, что в мире работает сразу несколько исследовательских групп, которые хотели бы заставить муху (или другое насекомое) лететь туда, куда они прикажут.

Существует несколько способов это сделать, более или менее пригодных для разных видов насекомых⁹². Например, африканские жуки рода *Mecynorhina* (масса – 10 граммов, электроды с аккумулятором – еще 1,22 грамма, остаточная грузоподъемность – 3 грамма) обладают удобным свойством: они летят, пока светло, и останавливаются, если стемнело. Это означает, что им можно вживить электроды в оптическую долю, чтобы они думали, что кругом белый день (или темная ночь), и, соответственно, летели или нет. Чтобы заставить насекомых поворачивать, можно использовать их склонность лететь к свету (и врубать им светодиоды, прикрученные прямо к голове) или склонность поворачивать голову в направлении движения (и, соответственно, стимулировать им шейные мышцы с этой целью), а еще можно непосредственно воздействовать на мышцы крыльев: если вы машете правым крылом сильнее, то вас начинает сносить влево (попробуйте проверить сами, когда в следующий раз будете плавать в бассейне).

Самые причудливые вещи делает с животными Мигель Николелис из Университета Дьюка. Он хочет создать нечто вроде интернета из мозгов. Соединить нескольких животных в единую мыслящую сеть, способную коллективно обрабатывать информацию и принимать решения. На самом деле, конечно, помимо этого он публикует множество серьезных работ о нейроинтерфейсах, нейропротезах и лечении повреждений нервной системы, но законы журналистики суровы, и в научно-популярные книжки Николелис попадает не с самыми важными своими статьями, а с боковыми ответвлениями от своей основной работы. Просто потому, что их интереснее читать и пересказывать широкой общественности.

В 2013 году Николелис и его коллеги⁹³ научили крыс обмениваться информацией на расстоянии⁹⁴. У вас есть пара подопытных животных, и они хотят пить. В клетке у каждой крысы есть две поилки, но вода появится только в одной из них и ненадолго, так что важно сделать правильный выбор. У первой крысы есть подсказки: она должна либо нажать на тот рычаг, который подсвечен фонариком, либо просунуть голову между двумя перегородками, расстояние между которыми автоматически меняется, и затем выбрать правую или левую поилку в зависимости от сиюминутной ширины щели (естественно, животных заранее тренировали это делать). У второй крысы тоже есть две поилки, и она тоже хочет пить, но внешний мир не дает ей подсказок. Зато подсказки дает ей внутренний мир: в ее моторную или сенсорную кору вживлены электроды. У первой крысы, соответственно, тоже. Они записывают активность мозга той крысы, которая приняла решение, и подают сигналы другой крысе, которой еще предстоит сделать выбор. Если вторая крыса справилась, то первая получает еще один глоток воды, так что в ее интересах стараться думать погромче. Правильно расшифровывать сигнал удавалось не всегда, но все же крысы, ориентирующиеся на сигналы от своих микроэлектродов,

⁹¹ Talwar, S. K. et al. (2002). Rat navigation guided by remote control. *Nature*, 417, 37–38.

⁹² Sato, H. & Maharbiz, M. (2010). Recent developments in the remote radio control of insect flight. *Frontiers in Neuroscience*, 4, 199.

⁹³ В том числе Михаил Лебедев, недавно возглавивший Центр биоэлектрических интерфейсов в НИУ ВШЭ.

⁹⁴ Pais-Vieira, M. et al. (2013). A brain-to-brain interface for realtime sharing of sensorimotor Information. *Scientific Reports*, 3, 1319.

выбирали правильную поилку более чем в 60 % случаев, и это достоверно выше вероятности случайного угадывания. В одном из экспериментов крысы в паре находились в двух разных лабораториях, в Бразилии и США, и передавали свои мысли по интернету. Примерно как мы.



Но это еще нельзя назвать совместной работой над решением задачи. Зато трех обезьян, которые должны силой мысли привести виртуальную руку в правильную точку экрана, –

уже можно⁹⁵. Идея в том, что каждая обезьяна по отдельности способна управлять движением только в двух плоскостях. Только вверх-вниз и вперед-назад, но не вправо-влево. Или только вперед-назад и вправо-влево, но не вверх-вниз. Или, соответственно, только вверх-вниз и вправо-влево. Таким образом, любые две обезьяны с задачей справиться могут, а одна – нет. Причем, действительно, если одна из трех обезьян отвлекалась от задания (или была отключена от него исследователями), то оставшимся двум приходилось в буквальном смысле думать более интенсивно, чтобы справиться с заданием. Принципиально и то, что со временем животные сработались и им требовалось все меньше и меньше времени для того, чтобы направить виртуальную руку куда нужно. “Основываясь на этих доказательствах, – заключают исследователи, – мы полагаем, что мозги приматов могут быть интегрированы в самостоятельно адаптирующуюся вычислительную структуру, способную к достижению общей поведенческой цели”.

И я держу равнение, даже целуясь,
На скованных одной цепью.

⁹⁵ Ramakrishnan, A. et al. (2015). Computing arm movements with a monkey Brainet. *Scientific Reports*, 5, 10767.

Глава 3

Башни-излучатели: ожидание и реальность

Вы наверняка слышали о карго-культе, но если нет, то отвлекитесь от книжки и сделайте поиск по картинкам, они прекрасны. Во время Второй мировой войны и в первые годы после нее на островах Меланезии размещались многочисленные военные базы, как японские, так и европейские. С Большой земли солдатам доставляли одежду, продукты, лекарства, палатки и еще множество ценных вещей. Чаще всего их сбрасывали на парашютах, пролетая над островами. Меланезийцы могли либо сами находить блага цивилизации, либо получать их от солдат в обмен на содействие. Но потом война закончилась, солдаты вернулись домой, и приток полезных предметов прекратился. Чтобы вернуть утраченную милость небес, островитяне начали имитировать действия, которые они наблюдали у европейцев. Они проводили военные парады, маршируя с палками, изображавшими ружья. Строили деревянные самолеты. Сооружали радиоантенны из прутьев и соломы⁹⁶.

Это кажется забавным до тех пор, пока мы не начинаем читать современные околонучные новости на развлекательных ресурсах. “Девушки, которые не ленятся краситься, получают большую зарплату”, – сообщает нам *AdMe*. “Ребенок, выросший в доме, в котором содержится более 500 книг, в среднем проводит в учебных заведениях на три года больше”, – говорит *The Telegraph*. Что может быть проще? Хотите много зарабатывать – начинайте краситься. Хотите, чтобы ваш ребенок благополучно окончил школу и поступил в университет, – заведите в доме библиотеку. (Хотите больше посылок с едой – постройте деревянный самолет.)

На самом деле, очевидно, нет. Такие научные новости базируются на настоящих исследованиях с большими выборками^{97, 98} и даже не то чтобы очень сильно искажены относительно первоисточников. Но оба исследования – корреляционные. То есть ровным счетом ничего не говорят о причинно-следственной связи. Смотрите, что получается:

1. Да, мы действительно видим, что ухоженность и высокий заработок (или книжки и образование) идут рука об руку. Это не означает, что закономерность будет соблюдаться для каждого конкретного человека, но вот уже если посмотреть на 100 испытуемых, скорее всего, она проявится. Исследователи в обоих случаях брали много тысяч людей и в обоих случаях получили $p < 0,001$. Другими словами, вероятность того, что им просто попались неправильные респонденты, а для общества в целом такой корреляции нет, крайне невелика: меньше чем 1 к 1000.

2. Но мы понятия не имеем, что было раньше: курица или яйцо. Начали ли женщины следить за своей одеждой, прической и макияжем и из-за этого им повысили зарплату? Или им повысили зарплату, и у них появилось больше возможностей ухаживать за собой? Даже в случае со школьной успеваемостью нельзя исключать, не проверив, обратную последовательность: в семье рос любознательный ребенок, и поэтому родители накопили много книг.

3. Самое главное: возможно, эти факторы вообще не связаны друг с другом напрямую. Они могут быть двумя следствиями одной и той же причины. Допустим, у некоторых женщин дома хорошо, тихо и спокойно, никто их не дергает, и это позволяет им, с одной стороны,

⁹⁶ Надо сказать, что это сработало. Карго-культы вызвали широкий интерес у западных ученых, они стали организовывать исследовательские экспедиции, и островитяне получили еще много полезных вещей.

⁹⁷ Wong, J. S. & Penner, A. M. (2016). Gender and the returns of attractiveness. *Research in Social Stratification and Mobility*, 44, 113–123.

⁹⁸ Evans, M. D. R. et al. (2010). Family scholarly culture and educational success: books and schooling in 27 nations. *Research in Social Stratification and Mobility*, 28 (2), 171–197.

читать вечерами профессиональную литературу, а с другой стороны, неторопливо краситься по утрам. Допустим, ребенок все эти книги с полки вообще ни разу в жизни не открывал, но зато у него есть умный дедушка, который в свое время их купил, и этот дедушка всю дорогу помогал ему решать задачи по алгебре и физике. И делал бы это независимо от того, есть в доме книги или нет.

Сами исследователи никогда не отказывают себе в удовольствии поговорить в финале статьи о том, как могла бы работать прямая причинно-следственная связь. “Диктат красоты, – отмечают они, – хороший способ контролировать женское поведение. Ухоженная женщина демонстрирует конформность, готовность играть по правилам, и работодатели это поощряют”. Или так: “Дом, полный книг, предоставляет детям возможности, полезные в школьном образовании, стимулирует развитие словарного запаса, расширение набора фактических знаний, навыки понимания, развивает воображение”. Все эти соображения ценны и интересны. Но важно не впадать в карго-культ. Только тогда, когда мы возьмем 1000 женщин с одинаковым уровнем образования и профессиональных навыков, убедим половину группы краситься и делать укладку и маникюр, а половину попросим этого не делать и сравним изменения в их зарплате через три года такой жизни, мы сможем говорить, что ухоженность способствует деньгам. И только когда мы возьмем детей этих женщин, отберем у одних половину книг, а другим привезем еще столько же и посмотрим на их оценки через три года, мы сможем говорить, что книги способствуют успеваемости. То есть, в идеальном случае, мы должны создать ситуацию, в которой экспериментальная и контрольная группа не отличаются друг от друга вообще ничем, кроме единственного фактора, который нас интересует, чтобы можно было посмотреть именно на его влияние. В этом, собственно, заключается ключевая идея экспериментального метода, единственного надежного источника информации о причинно-следственных связях. А пока такая работа не проведена, у меня для вас хорошие новости: если вы хотите больше денег, это не означает, что вам надо срочно начинать краситься. (Впрочем, если вы хотите, чтобы ваш ребенок поступил в университет, то вы вполне можете скупить все книги издательства *Corpus*. Это я одобряю. Я заинтересованная сторона.)

Мы, люди, по природе своей склонны замечать совпадения между событиями и трактовать их как причинно-следственные связи. Вообще-то это здорово. Это помогает нам учиться на своих ошибках, придумывать новые способы добычи ресурсов, лучше предсказывать поведение окружающих. Но, как и любой другой эволюционно выгодный механизм принятия решений, эта наша склонность время от времени приводит нас к ложным выводам, заставляет находить несуществующие закономерности, способствует формированию суеверий. Поэтому научный метод направлен скорее как раз на то, чтобы помешать нам видеть причинно-следственные связи там, где их на самом деле нет. В XIX веке британский философ Джон Стюарт Милль сформулировал три критерия причинности, которые полезно держать в голове и применять к любой закономерности, замеченной нами в окружающем мире. Мы можем обоснованно предполагать, что А – это причина Б, только когда соблюдаются три условия сразу: во-первых, А предшествует Б во времени, всегда сначала происходит одно, а потом уже другое; во-вторых, действительно, между ними есть корреляция, то есть изменение А вызывает столь же сильное (или столь же слабое) изменение Б; последнее по порядку, но не по важности – мы должны убедиться, что не можем найти других правдоподобных объяснений.

Все это очень актуально для исследований, в которых устанавливают взаимосвязи между структурами мозга и их функциями. Львиная доля данных об этом получена с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии. Она крутая, никто не спорит. Но у нее есть несколько методологических проблем^{99, 100}

⁹⁹ Lieberman, M. D. & Cunningham, W. A. (2009). Type I and type II error concerns in fMRI research: re-balancing the scale.

Прежде всего, фМРТ – медленная: она регистрирует не саму активность нейронов, а приток крови к ним, а на его изменение может потребоваться, например, секунда. За секунду в мозге произойдет множество событий; фМРТ не позволит сказать точно, в какой последовательности они происходили.

Вторая серьезная проблема связана с тем, что мозг, к сожалению, работает не на 10 %, как утверждается в популярном мифе; он все время работает весь целиком, каким бы заданием ни был занят ваш испытуемый. Поэтому среди огромного множества участков, к которым увеличился приток крови во время выполнения задания, будут те, которые имеют отношение к делу, и еще больше тех, которые отношения к делу не имеют, а заняты чем-то совершенно другим и просто по совпадению оказались более активны именно в этот момент. Вы, конечно, будете работать со многими испытуемыми и заставите их выполнить задание много раз, но и участков мозга у вас очень много, и поэтому среди них все равно найдутся такие, которые в большинстве случаев оказались активны при выполнении задания просто в результате случайного совпадения. Чтобы бороться с этой проблемой ложноположительных результатов, исследователи применяют очень строгие статистические критерии. И, соответственно, неизбежно упираются в проблему ложноотрицательных результатов, когда на самом деле активность этого участка мозга все-таки была важна, но оказалась недостаточно убедительной, и ее выкинули из анализа.

И наконец, всегда есть проблема интерпретации результатов. Даже если вы твердо уверены, что приток крови к конкретному участку мозга всегда связан с выполнением конкретного задания, вам все равно еще предстоит понять, почему так происходит, что конкретно делает этот участок. Допустим, вы собрали гору исследований о том, что амигдала активна, когда вы показываете человеку страшные картинки. Но означает ли это, что она нужна именно для того, чтобы бояться? Может быть, это не “центр страха”, а “центр храбрости”, который позволяет человеку лежать и смотреть на страшную картинку, вместо того чтобы с визгом выбираться из томографа и портить вам весь эксперимент? В случае с амигдалой мы думаем, что все-таки нет. Например, потому что у нас еще есть результаты исследований людей с повреждениями мозга и известно, что без амигдалы они становятся, наоборот, более бесстрашными. А вот если подходящих людей с травмами нет, то прийти к надежным выводам только с помощью фМРТ ну не то чтобы совсем невозможно, но это требует огромного массива разнообразных экспериментов, в которых вы не только регистрируете предшествование во времени и корреляцию, но и планомерно, шаг за шагом, исключаете все многочисленные альтернативные способы трактовки этих данных, пока не будете уверены, что остановились на самом правдоподобном.

То есть выводы, полученные с помощью фМРТ, всегда хорошо бы подкреплять с помощью других методов. Но мы же не можем ловить людей и вырезать им амигдалу? Они сами не согласятся, и этический комитет университета не разрешит, и научный журнал не опубликует. Честно говоря, в случае с амигдалой действительно мало что можно сделать. Но вот когда мы говорим о поверхностных, расположенных близко к стенкам черепа участках мозга, то у нас есть способ их повредить так, что и люди согласятся, и этический комитет не подкопается. Для этого надо повредить их безопасно, безболезненно и полностью обратимо.

И тут на сцену выходит транскраниальная магнитная стимуляция, ТМС.

Что происходит?

Ключевое свойство нейронов – способность проводить электрический ток. О том, как именно они это делают, я подробно рассказываю в “Кратком курсе нейробиологии” в конце книги. Основная идея в том, что на мембранах нервных клеток постоянно поддерживается разность потенциалов. В состоянии покоя внутренняя сторона мембраны заряжена отрицательно, а внешняя – положительно. Это возможно благодаря тому, что мембраны густо пронизаны белковыми каналами, способными выборочно пропускать внутрь и наружу разные ионы.

В момент проведения нервного импульса на каком-то маленьком участке мембраны нейрона на короткое время происходит деполяризация: ионные каналы запускают внутрь положительно заряженные ионы натрия, разность потенциалов между внутренней и наружной стороной становится гораздо меньше, а часто и вовсе меняет знак: теперь, наоборот, положительно заряженной оказывается внутренняя сторона мембраны. А дальше запускается цепная реакция: ионные каналы, расположенные по соседству, реагируют на деполяризацию мембраны и тоже начинают запускать натрий внутрь клетки (а на том участке, с которого все началось, наоборот, постепенно восстанавливается исходная разность потенциалов). Таким образом возбуждение распространяется вдоль по отростку нейрона. В конце концов оно придет к синапсу (месту контакта с соседней клеткой), и там произойдет выделение нейромедиаторов – межклеточных передатчиков сигнала, которые инициируют (или, наоборот, подавят) такие же процессы в следующей клетке.

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.