

**ОДИН ДЕНЬ  
ИЗ ЖИЗНИ  
МОЗГА**

**СЬЮЗАН ГРИНФИЛД**



**НЕЙРОБИОЛОГИЯ СОЗНАНИЯ**

**ОТ РАССВЕТА ДО ЗАКАТА**



## Annotation

Что происходит у нас в голове, когда мы просыпаемся, открываем глаза и осознаем себя здесь и сейчас? А когда завтракаем, гуляем с собакой и затем отправляемся на работу? Какие процессы активируются в нашем мозге, когда мы, усталые, возвращаемся домой, где нас ожидает нерешенная проблема? Разумеется, в каждой из этих ситуаций наше сознание следует не одним и тем же алгоритмам.

В основе книги Сьюзан Гринфилд, прославленного британского ученого, писательницы и увлеченного популяризатора науки, многолетний опыт и недавние открытия в области нейробиологии, темпы развития которой поражают воображение. Гринфилд выстраивает настолько последовательный, подробный и образный рассказ о самом загадочном органе человеческого тела, что он становится практически осязаемым, а значит, понятным и запоминающимся.

Даже если это первая книга о мозге, которую вам довелось открыть, смело погружайтесь в новый парадоксальный мир. Уверяем вас, экскурсия будет приятной и содержательной.

Баронесса Сьюзан Гринфилд – кавалер ордена Британской империи, старший научный сотрудник Линкольн-колледжа Оксфордского университета, член Палаты лордов, обладатель 32 почетных степеней британских и иностранных университетов, а также многих наград, включая орден французского Почетного легиона и звание Почетного научного сотрудника Королевского колледжа врачей.

- 
- [Сьюзан Гринфилд](#)
    - [Мнение российского ученого](#)
    - [Предисловие](#)
    - [В темноте](#)
      - [Предыстория](#)
      - [Лабиринты терминологии](#)
      - [От практики к теории](#)
      - [От теории к практике](#)
      - [Что же дальше?](#)
    - [Пробуждение](#)
      -

- Сон
- [Анестезия](#)
- [Сознание как переменная](#)
- [Нейронные ансамбли](#)
- [Прогулка с собакой](#)
  - 
  - [Нечеловеческое сознание](#)
  - [Формирование ряби: размер камня и сила броска](#)
  - [Развитие разума](#)
  - [От разума к сознанию](#)
  - [Упражнение, удовольствие, нейрогенез и ансамбли](#)
- [Завтрак](#)
  - 
  - [Пять чувств: пространственные свойства мозга](#)
  - [Пять чувств: временные свойства мозга](#)
  - [Мультисенсорное восприятие](#)
  - [Мозг и музыка](#)
- [В офисе](#)
  - 
  - [Физические свойства: цвет](#)
  - [Взаимодействие: пространство](#)
  - [Субъективные реакции](#)
  - [Теория творчества](#)
- [Проблемы дома](#)
  - 
  - [Подростковый возраст](#)
  - [Депрессия](#)
  - [Боль](#)
  - [Деменция](#)
- [Сны](#)
  - 
  - [Назначение сновидений](#)
  - [Онтогенез и филогенез сновидений](#)
  - [Нейробиология сновидений](#)
  - [Сны – отражение реальности или фантазий?](#)
  - [Сновидения и размеры нейронных ансамблей](#)
- [Глубокой ночью](#)
  - 
  - [Нейронные ансамбли: Розеттский камень, связывающий](#)

[физиологию и феноменологию](#)

- [Мозг и тело](#)

- [Завтра](#)

- 

- [Течение времени](#)

- [Восприятие времени](#)

- [Нейронные ансамбли, пространство и время](#)

- [Внутри ансамблей](#)

- [Метаансамбли?](#)

- [notes](#)

- [1](#)

- [2](#)

- [3](#)

- [4](#)

- [5](#)

- [6](#)

- [7](#)

- [8](#)

- [9](#)

- [10](#)

- [11](#)

- [12](#)

- [13](#)

- [14](#)

- [15](#)

- [16](#)

- [17](#)

- [18](#)

- [19](#)

- [20](#)

- [21](#)

- [22](#)

- [23](#)

- [24](#)

- [25](#)

- [26](#)

- [27](#)

- [28](#)

- [29](#)

- [30](#)
- [31](#)
- [32](#)
- [33](#)
- [34](#)
- [35](#)
- [36](#)
- [37](#)
- [38](#)
- [39](#)
- [40](#)
- [41](#)
- [42](#)
- [43](#)
- [44](#)
- [45](#)
- [46](#)
- [47](#)
- [48](#)
- [49](#)
- [50](#)
- [51](#)
- [52](#)
- [53](#)
- [54](#)
- [55](#)
- [56](#)
- [57](#)
- [58](#)
- [59](#)
- [60](#)
- [61](#)
- [62](#)
- [63](#)
- [64](#)
- [65](#)
- [66](#)
- [67](#)
- [68](#)

- [69](#)
- [70](#)
- [71](#)
- [72](#)
- [73](#)
- [74](#)
- [75](#)
- [76](#)
- [77](#)
- [78](#)
- [79](#)
- [80](#)
- [81](#)
- [82](#)
- [83](#)
- [84](#)
- [85](#)
- [86](#)
- [87](#)
- [88](#)
- [89](#)
- [90](#)
- [91](#)
- [92](#)
- [93](#)
- [94](#)
- [95](#)
- [96](#)
- [97](#)
- [98](#)
- [99](#)
- [100](#)
- [101](#)
- [102](#)
- [103](#)
- [104](#)
- [105](#)
- [106](#)
- [107](#)

- [108](#)
- [109](#)
- [110](#)
- [111](#)
- [112](#)
- [113](#)
- [114](#)
- [115](#)
- [116](#)
- [117](#)
- [118](#)
- [119](#)
- [120](#)
- [121](#)
- [122](#)
- [123](#)
- [124](#)
- [125](#)
- [126](#)
- [127](#)
- [128](#)
- [129](#)
- [130](#)
- [131](#)
- [132](#)
- [133](#)
- [134](#)
- [135](#)
- [136](#)
- [137](#)
- [138](#)
- [139](#)
- [140](#)
- [141](#)
- [142](#)
- [143](#)
- [144](#)
- [145](#)
- [146](#)

- [147](#)
- [148](#)
- [149](#)
- [150](#)
- [151](#)
- [152](#)
- [153](#)
- [154](#)
- [155](#)
- [156](#)
- [157](#)
- [158](#)
- [159](#)
- [160](#)
- [161](#)
- [162](#)
- [163](#)
- [164](#)
- [165](#)
- [166](#)
- [167](#)
- [168](#)
- [169](#)
- [170](#)
- [171](#)
- [172](#)
- [173](#)
- [174](#)
- [175](#)
- [176](#)
- [177](#)
- [178](#)
- [179](#)
- [180](#)
- [181](#)
- [182](#)
- [183](#)
- [184](#)
- [185](#)

- [186](#)
- [187](#)
- [188](#)
- [189](#)
- [190](#)
- [191](#)
- [192](#)
- [193](#)
- [194](#)
- [195](#)
- [196](#)
- [197](#)
- [198](#)
- [199](#)
- [200](#)
- [201](#)
- [202](#)
- [203](#)
- [204](#)
- [205](#)
- [206](#)
- [207](#)
- [208](#)
- [209](#)
- [210](#)
- [211](#)
- [212](#)
- [213](#)
- [214](#)
- [215](#)
- [216](#)
- [217](#)
- [218](#)
- [219](#)
- [220](#)
- [221](#)
- [222](#)
- [223](#)
- [224](#)

- [225](#)
- [226](#)
- [227](#)
- [228](#)
- [229](#)
- [230](#)
- [231](#)
- [232](#)
- [233](#)
- [234](#)
- [235](#)
- [236](#)
- [237](#)
- [238](#)
- [239](#)
- [240](#)
- [241](#)
- [242](#)
- [243](#)
- [244](#)
- [245](#)
- [246](#)
- [247](#)
- [248](#)
- [249](#)
- [250](#)
- [251](#)
- [252](#)
- [253](#)
- [254](#)
- [255](#)
- [256](#)
- [257](#)
- [258](#)
- [259](#)
- [260](#)
- [261](#)
- [262](#)
- [263](#)

- [264](#)
- [265](#)
- [266](#)
- [267](#)
- [268](#)
- [269](#)
- [270](#)
- [271](#)
- [272](#)
- [273](#)
- [274](#)
- [275](#)
- [276](#)
- [277](#)
- [278](#)
- [279](#)
- [280](#)
- [281](#)
- [282](#)
- [283](#)
- [284](#)
- [285](#)
- [286](#)
- [287](#)
- [288](#)
- [289](#)
- [290](#)
- [291](#)
- [292](#)
- [293](#)
- [294](#)
- [295](#)
- [296](#)
- [297](#)
- [298](#)
- [299](#)
- [300](#)
- [301](#)
- [302](#)

- [303](#)
- [304](#)
- [305](#)
- [306](#)
- [307](#)
- [308](#)
- [309](#)
- [310](#)
- [311](#)
- [312](#)
- [313](#)
- [314](#)
- [315](#)
- [316](#)
- [317](#)
- [318](#)
- [319](#)
- [320](#)
- [321](#)
- [322](#)
- [323](#)
- [324](#)
- [325](#)
- [326](#)
- [327](#)
- [328](#)
- [329](#)
- [330](#)
- [331](#)
- [332](#)
- [333](#)
- [334](#)
- [335](#)
- [336](#)
- [337](#)
- [338](#)
- [339](#)
- [340](#)
- [341](#)

- [342](#)
- [343](#)
- [344](#)
- [345](#)
- [346](#)
- [347](#)
- [348](#)
- [349](#)
- [350](#)
- [351](#)
- [352](#)
- [353](#)
- [354](#)
- [355](#)
- [356](#)
- [357](#)
- [358](#)
- [359](#)
- [360](#)
- [361](#)
- [362](#)
- [363](#)
- [364](#)
- [365](#)
- [366](#)
- [367](#)
- [368](#)
- [369](#)
- [370](#)
- [371](#)
- [372](#)
- [373](#)
- [374](#)
- [375](#)
- [376](#)
- [377](#)
- [378](#)
- [379](#)
- [380](#)

- [381](#)
  - [382](#)
  - [383](#)
  - [384](#)
  - [385](#)
  - [386](#)
  - [387](#)
-

# **Сьюзан Гринфилд**

## **Один день из жизни мозга. Нейробиология сознания от рассвета до заката**

SUSAN GREENFIELD

A DAY IN THE LIFE OF THE BRAIN

The Neuroscience of Consciousness from Dawn Till Dusk

Редакция благодарит за помощь в подготовке издания сотрудников Института прикладной физики Российской академии наук (ИПФ РАН):

**Владимира Григорьевича Яхно**, доктора физико-математических наук, профессора кафедры Нейротехнологий Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского,

**Ирину Владимировну Нуйдель**, кандидата физико-математических наук и **Анну Алексеевну Кольчугину**

© Перевод на русский язык ООО Издательство «Питер», 2018

© Издание на русском языке ООО Издательство «Питер», 2018

© Серия «New Med», 2018

## Мнение российского ученого

Книга знаменитого британского нейробиолога Сьюзан Гринфилд «Один день из жизни мозга», несомненно, расширит кругозор любопытного читателя. Именно любопытство заставляет людей стремиться к осознанию, как устроен мир, в котором мы живем, как устроены мы сами, живые существа. Но как же нам удастся создавать мысленную модель внешнего мира, включая нас самих, и достигать с ее помощью избранных нами целей? В книге выделена основная загадка, интригующая многих: что же такое сознание? Само понятие кажется таким обыденным и очевидным, до тех пор пока мы не попытаемся объяснить различные стороны процесса осознания или пока нас не попросят изложить это формализованным языком. Ведь и книга, после рассмотрения очень интересного множества данных об этапах работы мозга на протяжении суток, заканчивается довольно характерным высказыванием:

**«Если мы объединим наши усилия в междисциплинарных исследованиях и задействуем воображение до предела, то, возможно, понимание чуда субъективного сознания, наконец, перестанет быть таким недостижимым...»**

Так неужели человеческому мозгу не суждено познать свое собственное устройство? Читатели сами могут сформировать суждение об этом.

В зависимости от индивидуального опыта люди воспринимают информационные сигналы тремя способами. Наука выделяет:

а) образное, «интуитивно-чувственное» восприятие, ориентированное на внутренний мир человека;

б) формализованно-модельное, инженерное восприятие, ориентированное на создание «искусственной реальности»;

в) «текстуально-книжное» восприятие, основанное на логических цепочках ассоциативных образов, представляющее комбинации предыдущих двух видов восприятия в различных пропорциях и ориентированное на «социальные взаимоотношения» между людьми.

Методология познания, основанная на опыте физических исследований, обычно использует концептуальные (смысловые, базовые)

модели, в которых сохраняются лишь самые важные элементы структуры и причинно-следственных связей в изучаемой системе, чтобы динамика ее поведения соответствовала экспериментальным данным и помогала достигать поставленных целей моделирования.<sup>[1]</sup>

Известно, что для адекватного описания живых систем в моделях необходимо рассматривать не только процессы регистрации, обработки и кодирования сенсорных сигналов, но также и процессы воссоздания внутренних «самоотождествляющих» сигналов, имитирующих возможные входные сигналы.<sup>[2]</sup> Именно с ними связывают субъективное осознание, которое ощущается через эмоции. Примеры разглядывания многозначных картинок наглядно показывают, что осознаваемый образ зависит от того, какой алгоритм интерпретации ваш мозг использует в данный момент.

Наверняка вам известна знаменитая оптическая иллюзия, представленная двойственным изображением девушки и старухи. Кого вы видите, глядя на рисунок: девушку или старуху? Поиск ответа на этот вопрос и есть процесс осознания, когда в ходе циклов сравнения величина ошибки между ожидаемым образом (работа внутренних «самоотождествляющих» алгоритмов) и образом, регистрируемым сенсорной системой, станет меньше порога. А выбор системой управления в мозге тех или иных алгоритмов распознавания и имитационного «самоотождествления» представляет собой аналог процесса внимания. Регистрацию сигнала биологические сенсоры могут осуществить за микросекунды и бессознательно распознать за ~30–70 миллисекунд, а вот для осознания образа требуется провести циклы сравнения (для людей этот диапазон от 70 до 200 миллисекунд и, в зависимости от обстоятельств, даже больше). При этом осознается либо один, либо другой образ (старуха/девушка), и переключение между ними происходит уже за секунды. Конечно, процессы восприятия более разнообразны, потому что живые системы состоят из многих иерархий распознающих систем, к тому же по-разному функционально ориентированных. Приведенная схема описания, как мне представляется, позволяет двигаться по пути формализации многоуровневых динамических процессов в управлении живыми системами и снять излишний ореол загадочности с процессов, воспринимаемых нами как разные уровни сознания.

В книге Сьюзан Гринфилд говорится о размерах нейронных ансамблей, которые, по-видимому, и следует интерпретировать как иерархические структуры распознающих систем с их специфической функциональной направленностью. Заинтересованный читатель найдет

интереснейшие факты и гипотезы, которые могут вдохновить его на создание собственных моделей и представлений о работе структур мозга.

Будем надеяться, что эти новые достижения в познании механизмов работы мозга будут радовать читателя, помогут эффективному использованию уже накопленных знаний в различных профессиональных областях, адекватному решению встречающихся проблем. Важно также, чтобы такие книги увеличивали долю творческих исследователей в нашем обществе по сравнению с потребителями. Предлагаемые знания ориентированы, в первую очередь, на развитие внутреннего мира людей, расширение их мировоззрения и собственных возможностей.

Книга будет полезна широкому кругу заинтересованных читателей.

***Владимир Григорьевич Яхно,***

*доктор физико-математических наук,*

*профессор кафедры Нейротехнологий Нижегородского  
государственного университета имени Н. И.  
Лобачевского*

## Предисловие

Мой отец всегда интересовался устройством вещей, будь то машина, телевизор, реактивный двигатель или тело и мозг. Он любил размышлять о природе электричества, человеческой природе и происхождении Вселенной, не довольствуясь при этом простыми объяснениями. Как однажды заметил Джеймс Тербер, «лучше знать несколько вопросов, чем все ответы». И это истинное наслаждение смаковать сложную задачу и делиться ею с другими открылось для меня довольно рано, определив сферу моих интересов еще со школьной скамьи.

В те времена науку преподавали как совокупность известных фактов, где не оставалось места открытиям. Амеба делится пополам; дистилляционную установку необходимо аккуратно перерисовать в тетрадь; физику времени и пространства изучали при помощи полосок бумаги со скрупулезно нанесенными на них равноудаленными точками. Несмотря на прорыв в образовании в цифровую эпоху, подозреваю, что в преподавании наук все еще есть пробелы. Наверняка их можно заполнить и показать ученикам более отдаленные и менее определенные горизонты, которые рано или поздно могут быть достигнуты благодаря их собственным усилиям. В мои юные годы глобальные вопросы, которые беспокоили всех нас (и подростков, пожалуй, особенно), касались причин, почему развязываются войны, природы любви, свободы воли, предопределенности и, прежде всего, человеческой сущности. Казалось, с ответами на эти вопросы лучше справлялись история и литература. Поэтому с большим облегчением я отказалась от науки в пользу классического арсенала латинского и греческого языков, а также античной истории и математики.

Помимо прочего, мир древних греков позволил мне исследовать то, что представлялось фундаментальным вопросом человеческой сущности и неизбежно вызывало у меня более пристальный интерес к философии. До сих пор помню, как сидела в Бодлеанской библиотеке одним субботним утром и вдруг поняла, что, пожалуй, сделала не лучший выбор предмета изучения. В результате я переключилась на еще зарождающуюся психологию, постепенно все больше увлекаясь ее физиологическими аспектами. Тогда я впервые ощутила одержимость наукой, которая не давала простых ответов, но на самые волнующие вопросы ответом мог быть результат, полученный опытным путем. Ко всеобщему – и не в

последнюю очередь к моему собственному – удивлению, я стала нейробиологом. И за неоценимую поддержку я благодарю моего тогдашнего наставника доктора Джейн Мелланби и профессора Уильяма Патона. Это стало началом моей научной карьеры.

Сперва я задалась целью исследовать механизмы работы мозга, имеющие отношение к развитию нейродегенеративных заболеваний. Но и здесь меня преследовала проблема сознания. Как оно устроено и почему угасает? И если бы другой ученый утверждал, что может ответить на эти вопросы, что бы он мне продемонстрировал? Дрессированную крысу? Сканирование мозга? Формулу? Даже самые отдаленные и футуристические сценарии не могли зафиксировать этот неуловимый компонент, квинтэссенцию сознания – субъективность. И наряду с ежедневными лабораторными экспериментами я продолжала беседы с философами, в частности с ныне покойной Сьюзан Херли.

Вместе мы организовали обширную серию дебатов между философами и нейробиологами. Привлекательность этих дискуссий, которые нередко продолжались с утра до позднего вечера, заключалась в том, что к теме, актуальной для двух дисциплин, скажем к памяти, можно было подойти с совершенно иной точки зрения, с иным набором приоритетов и перспектив. Как нейробиолог я рисковала пренебречь феноменологией – вездесущая субъективность вешала на нейрофизиологические исследования сознания клеймо «узкая специализация».

Продолжая размышлять над субъективной природой «разума» и «сознания», в 1995 году я написала «Путешествие в тайны разума», а в 2000 году – «Тайную жизнь мозга». Поскольку мы можем «потерять рассудок», но все же оставаться в сознании, мне показалось, что эти два термина не синонимичны и что осмысление разницы между ними способно помочь нам продвинуться вперед. Я пришла к выводу, что необходим некий Розеттский камень, билингвальная система, которая свяжет феноменологию и физиологию.

Идеальным кандидатом на эту роль стал не макромасштабный участок мозга, не микромасштабная группировка синапсов, а мезомасштабное явление, которое до 1990-х годов оставалось незамеченным: нейронные ансамбли. Ансамбли немного похожи на рябь, которую вызывает брошенный в воду камень: миллионы нейронов генерируют распространяющуюся активность в течение субсекундного временного интервала. Шкала в миллисекундах означает невозможность обнаружения ансамблей при помощи классических методов визуализации. Однако новые

методы с применением потенциал-чувствительных красителей, которые напрямую отражают активность нейронов, позволяют исследовать нейронные ансамбли мозга в реальном времени.

Когда я писала «Тайную жизнь мозга», изучение нейронных ансамблей находилось еще в зачаточном состоянии, и я могла только предполагать, что они могут служить основным нейрональным коррелятом сознания. Но я мечтала перейти от теории к практике и исследовать нейронные ансамбли в своей собственной лаборатории; к счастью, трудности с поиском нужных людей и финансирования были не настолько непреодолимыми, как мне казалось. Летом 2001 года талантливый аспирант из нашей исследовательской группы, Эд Манн, отправился на стажировку в Японию и его радушно встретили в лаборатории доктора Ичикавы. Эд изучал там технику оптической визуализации, чтобы мы могли создать свою собственную лабораторию в Оксфорде. Большая удача, что высокоспециализированное оборудование и расходные материалы, необходимые для исследований, нам были обеспечены за счет гранта от *Pfizer Ltd*, а также поддержки Фонда Темплтона, Фонда науки о разуме и Европейского общества анестезиологии. То, что казалось далекой мечтой, стало реальностью, и за последние пятнадцать лет нам удалось проверить многие гипотезы и догадки.

«Один день из жизни мозга» – это далеко не исчерпывающий обзор исследований в области сознания, хотя здесь приводятся актуальные факты и гипотезы из сферы философии, психологии, неврологии и физики. И на этот раз, в отличие от «Тайной жизни мозга», мы будем рассматривать еще и множество реальных экспериментов.

Основная цель этой книги – познакомить читателя с новым междисциплинарным подходом к сознанию: идея состоит в том, что нейронные ансамбли можно рассматривать как центральный элемент модели, описание которой возможно с использованием как феноменологической, так и физиологической терминологии одновременно. Различные субъективные состояния сознания наилучшим образом иллюстрируются вовсе не строгими лабораторными экспериментами с надуманными сценариями, а теми сюжетами из жизни, с которыми мы все знакомы. Нам предстоит прожить один ничем не примечательный день и попытаться сопоставить конкретное субъективное состояние с объективно регистрируемыми процессами, протекающими внутри физического мозга.

Поскольку эта книга появилась благодаря тем данным, которые мы собрали при помощи оптических изображений, хочу поблагодарить тех, кто сотрудничал с нашей лабораторией на протяжении многих лет, а также

авторов цитируемых публикаций. В частности, отмечу Скотта Бадина, который принимал активное участие в исследовании нейронных ансамблей. Также особой благодарности заслуживает доктор Франческо Фермани, физик-теоретик, у которого мы со Скоттом провели много приятных вечеров за бутылкой вина, пытаясь выйти за рамки эмпирических данных и взглянуть на сознание с точки зрения математического моделирования. Но особенно горячо я хочу поблагодарить доктора Яна Девоншира за неоценимую помощь при создании этой книги, за то, что представил и выверил литературные источники. Наконец, благодарю свою мать Дорис, которая внесла самый значимый вклад из всех: свою безусловную любовь. И теперь мы вновь возвращаемся к моему отцу, который дал мне и моему брату любознательность и мужество для поисков ответов на трудные вопросы. Хочется думать, что где бы он ни был, он знает, скольким я ему обязана.

*Сьюзан Гринфилд*

*Оксфорд, 27 марта 2016 года*

# **В темноте**

## Предыстория

Сейчас раннее утро, но еще совсем темно. Ваш сердечный ритм замедлился до одного удара в секунду кровяное давление в данный момент – самое низкое за последние пятнадцать часов. Вы совершаете не более двенадцати вдохов в минуту, в то время как уровень глюкозы в крови находится на нижней границе. Мочевой пузырь и кишечник медленно наполняются, но этого еще недостаточно, чтобы потревожить ваш сон. В организме протекает множество физиологических процессов, но вы спите и не догадываетесь об этом. Ваш мозг в настоящее время каким-то образом препятствует проникновению в свою личную внутреннюю вселенную, она недоступна сейчас даже для вашего собственного тела. Удивительно, правда? Когда прозвенит будильник, вы снова станете собой. Но прямо сейчас, еще ненадолго, вы «мертвы для мира», вы в бессознательности.

Без сознания жизнь была бы ужасно похожа на смерть. Это неосознанное внутреннее... что же это на самом деле? На протяжении веков наши предки пытались понять, как устроено это загадочное, но настолько привычное явление, которое мы принимаем как должное день за днем. В течение последних пятидесяти лет интерес к этому вопросу рос пропорционально темпам развития нейронауки. Но обширные познания о самых разных аспектах работы мозга не приблизили нас к раскрытию тайны сознания: как наш индивидуальный опыт, мысли, воспоминания могут воплощаться в форме химических взаимодействий и электрических вспышек?

Когда речь идет об амбициозных идеях на грани науки и фантастики, бросающих вызов законам физики, таких как путешествия во времени или создание вечного двигателя, вы не воспринимаете их всерьез. Но если, пусть даже гипотетически, некий гениальный изобретатель представит вам готовую технологию, вы примете ее как должное. Что же на самом деле докажет вам, что какой-то ученый или философ или даже писатель-фантаст пришел к окончательному пониманию субъективного опыта, который мы называем сознанием?

Может, гений, восторженно размахивающий распечатками сканирования мозга или стучащий указкой по математической формуле на меловой доске? Эти «доказательства», сколь бы гениальными они ни были, не станут убедительными, поскольку не учитывают то, как объективно наблюдаемые события трансформируются в бесценное ощущение личного

опыта.

Еще в середине 80-х годов мы с философом Сьюзан Херли решили организовать серию семинаров в Оксфордском университете по различным аспектам разума и мозга. К сожалению, мы мало продвинулись в понимании того, какую роль в формировании сознания играют те или иные процессы, протекающие в мозге,<sup>[3]</sup> вероятно, не в последнюю очередь потому, что ни нейронаука, ни философия не имеют четкой базы, от которой можно было бы отталкиваться. Тем не менее семинары помогли выделить главную проблему, терзающую обе дисциплины: как объективно анализировать субъективное явление? К тому же мы обнаружили, что ничто не мешает нам вести плодотворные междисциплинарные дебаты по более узким, более конкретным вопросам. Например, может ли машина быть разумной? Какова эволюционная сила сознания? Как язык влияет на мышление?

Уже тогда был брошен вызов устоявшемуся делению на ментальное и физическое, поскольку нейронаука продемонстрировала, как изменения в мозге, обусловленные, скажем, физическим повреждением, коррелируют с изменениями в субъективном личном опыте. По словам одного из участников конференции, Пола Сибрайта, «воспоминания, равно как и молекулы, являются физическими объектами, частью физической Вселенной, но этим объектам мы даем названия, отличные от тех, которые дает физика».

Это противоречие между объективным и субъективным казалось неразрешимым с тех пор, как великий философ Рене Декарт впервые поднял этот вопрос в семнадцатом веке, решив отделить сознание от биологического мозга. Эту концептуальную пропасть между восприятием от первого лица, формирующим индивидуальную току зрения в реальной жизни, и восприятием от третьего лица, которое является отличительной чертой научных экспериментов, трудно преодолеть. Когда мы описываем человека или любое животное как сущность, обладающую «перцептивными переживаниями» или «сознательными состояниями», речь идет об одних из ключевых признаков, которые отличают живое от неживого. Камню не присущи субъективные свойства, но восприятие – это прежде всего интерпретация, поэтому оно формирует субъективные свойства объекта. Например, присваивая тот или иной цвет. Это кажется довольно очевидным для нас при взгляде от первого лица, но смещая перспективу в сторону объективной науки, мы оказываемся в некотором затруднении. Мы можем говорить о состоянии мозга, которое, в свою очередь, может быть сведено к вспышкам активности нейронов и

колебаниям концентраций химических веществ, но трудно понять, как этот нейробиологический водоворот связан с особенностями сознания, столь очевидными для нас в собственном повседневном опыте: кусочек шоколада медленно тает во рту, солнечный свет греет и заставляет щуриться, музыка навеивает воспоминания. Цель путешествия, которое мы собираемся совершить в этой книге, – понять, какие процессы протекают в биологическом мозге, когда мы наслаждаемся едой, чувствуем опьянение после пары бокалов вина, мечтаем, гуляем на открытом воздухе или сидим целый день в офисе.

На протяжении дня различные факторы приводят к огромному разнообразию состояний мозга, обусловленных, по большому счету, лишь тем, что та или иная группа нейронов проявляет согласованную активность лишь на долю секунды. Это важные мозговые процессы, которые, тем не менее, все еще недостаточно изучены. Такие крупномасштабные вспышки активности, сопоставимые с тем или иным субъективным опытом, представляют собой своего рода Розеттский камень. На этой знаменитой реликвии выгравированы три идентичных по смыслу текста: два на древнеегипетском языке и один на древнегреческом. Древнегреческий был хорошо известен лингвистам, и сопоставление трех текстов послужило отправной точкой для расшифровки египетских иероглифов. Сопоставляя события в мозге с различными аспектами сознания, мы сможем переводить язык субъективного личного опыта на язык объективной нейронауки, и наоборот.

Предположение, что субъективность является основной чертой сознания, научное сообщество сочло немного неприятным и долгое время предпочитало игнорировать, поскольку эмпирический метод безжалостно объективен и беспристрастен. Поэтому неудивительно, что многих традиционалистов призрак «ненаучности» заставляет прекратить дальнейшее изучение предмета. Прилагательное «научный» – это универсальная приправа ко всем типам терминов. Достаточно сказать, что ученые обычно сообщают только о тех результатах, которые однозначно объективны и достоверны, то есть другой исследователь, произведя те же манипуляции, гарантированно сможет получить те же результаты. Но именно поэтому нормальный механизм научного метода настолько сложен, когда мы имеем дело с сознанием, ведь потенциальный исследователь действительно должен признать авантюрную черту субъективности. Даже те нейробиологи, которые осмеливаются работать в этой области (приятно, что их становится все больше), склонны игнорировать разнообразие индивидуальных субъективных состояний: вместо этого они фокусируются

на принципах функционирования мозга, с которыми мы уже знакомы, а также на тех процессах, которые удобно регистрировать.

## Лабиринты терминологии

Однако прежде чем снять лабораторный халат с вешалки, мы столкнемся с проблемой терминологии. С чем конкретно мы будем иметь дело? На первый взгляд очевидные синонимы – «бодрствование» и «осознанность» – на деле оказываются бесполезными; к тому же они подчеркивают скорее пассивность по отношению к внешнему миру, а не квинтэссенцию понимания индивидуального опыта. Очевидные трудности возникают, когда мы пытаемся применить привычную нам стратегию классификации вещей и явлений. Например, вы могли бы сказать: «Полет – это когда бросаешь вызов гравитации». Но разве сознание – это что-то сопряженное с действием? Вам вовсе не обязательно делать что-либо вообще: можно просто лежать спокойно в тишине и с закрытыми глазами. Альтернативный вариант – ссылаться на более высокую или широкую категорию. Например: стол – это предмет мебели; любовь – это эмоция; сознание – это... Какая из этих категорий более высокая или широкая? Мы пока не знаем ответа.

Поскольку нельзя дать четкое определение сознания, нам необходимо хотя бы распутать клубок других важных терминов, которые иногда могут подменяться синонимами, хотя на самом деле имеют свой собственный особый смысл. Например, подсознание – центральное понятие для отца психоанализа Зигмунда Фрейда – подразумевает, что в мозге возникают сценарии, о которых вам неизвестно, даже если вы бодрствуете и мыслите ясно. Подсознание может быть необходимым, но не достаточным компонентом сознательного состояния, в отличие от бессознательного – его полного отключения в глубоком сне или коме. Самосознание в повседневном смысле – это осознание того, что вы отличаетесь от всех остальных, и оно должно в чем-то противопоставляться общему понятию сознания – иначе зачем нужны два термина? Задумайтесь на мгновение о том, что каждый любящий хозяин считает своего питомца абсолютно и неопровержимо сознательным. Кажется не очень правдоподобным предположение, что домашнее животное полностью осведомлено о своей кошачьей или собачьей роли; и даже младенцы не знают, кто они, где находятся и что происходит вокруг, но мы предполагаем, что они могут обладать сознанием.

Всем известно, что алкоголь, музыка и другие атрибуты веселья избавляют нас от застенчивости, мы ведем себя раскованно и легко

отпускаем мысли. Однако умение погружаться в себя, увлеченность, смущение и порой возникающая скованность, хотя это, на первый взгляд, очень далеко от сути основной проблемы, – все перечисленное дает основание считать нас разумными. Виляющая хвостом собака, мурлыкающий кот и залиvisto смеющийся ребенок испытывают какой-то субъективный опыт, но они не застенчивы и никогда не испытывают чувства скованности, хотя у них есть намерения и цели. Они ведут себя так, будто обладают сознанием, и мы взаимодействуем с ними, подразумевая их сознательность. Главная проблема, которую нам нужно решить прежде всего, – это чистая субъективность ощущения. Важным шагом к решению было бы выделение некоего базового внутреннего состояния.

Но, пожалуй, наиболее распространенным заблуждением является то, что термин «сознание» используется наравне с «рассудком» и оба считаются взаимозаменяемыми. В хорошем рабочем состоянии этот «рассудок» сопряжен с чем-то очень личным, поэтому мы используем выражения вроде «в своем уме», «на мой взгляд» или «я передумал». Но ведь когда вы погружаетесь в бессознательное состояние, скажем в сон, или оказываетесь под воздействием анестезии, нельзя сказать, что вы «сошли с ума». И так же, как в подобных ситуациях этот «ум», по-видимому, остается при вас, может иметь место и обратное: в моменты бурного веселья вы рискуете потерять рассудок, не теряя сознания. Это сценарий, в котором рассудок вас покидает, но вы все же обладаете сознанием, зачастую «экстатически» (этот термин происходит от греческого «пребывание вне себя»). Однако даже испытывая крайние проявления эмоций, вы все равно находитесь в субъективном сознательном состоянии. Итак, рассудок должен представлять собой нечто, доступное вам постоянно, в отличие от того, к чему нет необходимости иметь свободный доступ. Рассудок можно рассматривать как нечто, независимое от сознания, но в то же время он должен отражать некоторые личностные особенности, которые делают вас уникальным человеком, и которые, в свою очередь, будут оказывать влияние на ваше сознание.

Итак, мы разобрали сходства и различия нескольких основных терминов, но все еще не можем понять неуловимую сущность первичного сознания. Пожалуй, на данном этапе лучше избрать прагматичный путь и сказать: «Послушайте, всем известно, что мы подразумеваем подсознанием". Это то, что покидает нас, когда мы засыпаем, это то, что отключается, когда мы подвергаемся анестезии. Это тот опыт, который у нас есть здесь и сейчас: внутреннее субъективное состояние, которое никто другой не может с нами непосредственно разделить». Поэтому у нас есть

выбор: либо отказаться от дальнейших рассуждений, потому что мы не способны дать формальное определение, или же идти дальше с тем, что есть. Если мы примем практическую позицию, вероятно, рано или поздно нам удастся понять, как все происходит, как этот таинственный процесс субъективного восприятия разворачивается в биологическом мозге. Это можно сделать двумя способами. Прежде всего, мы могли бы начать с рассмотрения биологического мозга и попытаться вывести некую теорию или модель сознания на основе множества наблюдаемых физиологических процессов. Однако имеет смысл подойти к вопросу и с другого конца: сначала разработать теорию или модель сознания и, впоследствии, найти механизмы, осуществляющие этот сценарий в реальном мозге. Давайте опробуем каждую стратегию по очереди: сначала от практики к теории, затем – от теории к практике.

## От практики к теории

Если отправная точка нашего исследования – биологический мозг, важнейшая задача состоит в том, чтобы выяснить, как сознание могло возникнуть в этой неприглядной субстанции из разнообразных молекул и клеток, испускающих электрические импульсы. Иными словами, нам нужно определить, что является нейрональным коррелятом сознания (NCC), то есть чем-то уникальным и в то же время универсальным, точно соответствующим прямому субъективному опыту. Варианты, которые нам придется рассматривать, невероятно разнообразны – от крупных областей мозга и нейронных цепей до отдельных клеток и крошечных элементов внутри них. Однако здесь работает общий принцип: фокусировка на определенной функции мозга, которая по какой-то причине была выделена на фоне других. За этим следуют попытки связать ее с сознанием, и здесь важно строгое следование лабораторным или клиническим протоколам (об этом мы еще поговорим немного позже).

Многие выдающиеся ученые пытались разрешить загадку сознания, используя эту стратегию. Пожалуй, самым заметным из них был Фрэнсис Крик, который известен в первую очередь тем, что расшифровал код двойной спирали ДНК в 1953 году. Однако несколько десятилетий спустя он обратил свое внимание на биологию сознания. Целью Крика было понять, что происходит в мозге, когда вы что-то видите и отдаете себе в этом отчет, и как будет отличаться картина, если увиденное не воспринимается сознанием. Разработанная им концепция состояла в том, что в ходе осуществления этих двух сценариев должны быть различия в мозговых процессах. Если человек действительно понимает, что он видит, то, в соответствии с элементарной логикой, любой новый процесс, который мы наблюдаем в его мозге, может оказаться физическим коррелятом сознания. Крик сосредоточился конкретно на визуальных переживаниях не случайно, и не в последнюю очередь потому, что с ними легко проводить манипуляции... до тех пор, пока человек не закрывает глаза.

Когда вся многогранность человеческого сознания сводится к самым базовым элементам, становится ясно: сосредоточив внимание только на одном из пяти чувств (в данном случае на зрительном восприятии), Фрэнсис Крик и его коллега Кристоф Кох могли работать с простыми закономерностями. Их идея заключалась в том, чтобы продемонстрировать ключевой мозговой механизм сознания как «минимальный набор событий,

который порождает специфический аспект сознательного восприятия». Другими словами, цель заключалась в том, чтобы определить минимальный набор мозговых процессов, которые могли бы напрямую отражать сознательный опыт.<sup>[4]</sup>

Было отмечено, что зрительная стимуляция вызывает паттерны активности в группе нейронов, «связанных с объектом или событием», специфически детерминированной для каждого зрительного образа. И здесь сразу возникает вопрос: как может предварительно определенный набор клеток мозга отражать мимолетные моменты сознания? Крик и Кох дают такой ответ на этот вопрос: «Чтобы достичь сознания, нейронная активность должна пересечь некий порог». Но реальная проблема заключается в том, что пороговая нейронная активность не может быть заранее точно определена, и значит, жестко структурированная сеть клеток могла бы демонстрировать что-то новое только одним способом – повышая свою активность, генерируя больше электрических импульсов (потенциалов действия). Но в таком случае репертуар возможностей мозга для формирования сознания будет строго ограничиваться простым увеличением активности нейронов. Но как такого рода количественное изменение может перейти в качественное? Что представляет собой этот Рубикон? У нас нет никаких указаний на то, каким должен быть «порог» и каким образом количественное изменение в коллективной активности может оказаться настолько исключительным, чтобы вызвать качественно иное психическое состояние.

Но мы могли бы намного лучше понять механизмы сознания, досконально изучив чистое, ничем не искаженное восприятие сигналов от одного органа чувств, не так ли? В очень идеализированном экспериментальном сценарии мы можем допустить, что испытуемый смог на короткий промежуток времени сконцентрировать свое внимание на чисто визуальном стимуле, но даже тогда он все равно слышал бы голос экспериментатора, ощущал твердость поверхности стула, на котором он сидит, и, возможно, чувствовал бы легкий запах кожи или полированной древесины. Другими словами, испытуемый в любом случае будет иметь мультисенсорный целостный опыт, который неразделим на пять различных типов сознания, соответствующих каждому из пяти чувств.

Более того, Крик и Кох старались подчеркнуть, что, пытаясь добраться до истоков сознания, они будут брать в расчет некоторые из более сложных аспектов, таких как эмоции и самосознание. Ведь нельзя игнорировать предположение, что наши чувства и эмоции вполне могут быть определяющей квинтэссенцией сознания в его самой базовой форме, как

это, вероятно, демонстрируют мурлыкающий кот или лепечущий ребенок. В попытке разложить сознание на базовые элементы мы неизбежно приходим к чистой эмоции, которая является целостным состоянием мозга: грусть, страх, радость – вот что мы видим, а не только лишь визуальный смысл, свободный и независимый от всего остального.

Теперь оставим наши размышления в стороне и вернемся к сценариям, в одном из которых ваше внимание сконцентрировано на зрительном образе, а в другом – нет. Теперь идея состоит в том, чтобы исследовать конкретные состояния сознания пациентов с повреждением головного мозга, а именно то, как они реагируют на раздражители, представленные им в различных условиях. Сопоставляя специфический вид нарушения с отклонениями результатов от нормы, ученые могут заключить, какие области мозга теснее всего связаны с сознанием.

Мозг устроен таким образом, что если зрительная информация предъясляется слева (в левое поле зрения), то она поступает в правое полушарие, если же она предъясляется справа (в правое поле зрения), то попадает в левое полушарие. Разумеется, в норме информация, в какое бы полушарие она ни поступила, немедленно передается по мозолистому телу в противоположное полушарие. Но что происходит, когда мозолистое тело рассечено? Пациенты с повреждением волокон, которые соединяют два полушария, демонстрируют удивительные результаты. Когда исследователь показывает, скажем, яблоко, помещая объект в левое поле зрения пациента (в область «компетенции» правого полушария), пациент не может сказать, что он видит. Это связано с тем, что у большинства людей речевая функция во многом связана с деятельностью левого полушария, поэтому, несмотря на возможность увидеть яблоко, пациент не может сформулировать, что это такое. Когда яблоко расположено в правом поле зрения того же пациента, изображение проецируется в левое полушарие, и пациент на этот раз может сообщить, что видит яблоко.<sup>[5]</sup>

Другая группа пациентов, которая приковала к себе внимание нейробиологов, – это люди, у которых слепое пятно распространяется практически на все поле зрения так, что они совсем перестают видеть.<sup>[6]</sup> Поразительно то, что результаты МРТ, тем не менее, показывают, что мозг зарегистрировал и обработал объекты, находившиеся в поле зрения. Пациенты, страдающие от этого состояния, зачастую могут поймать мяч, брошенный им, несмотря на то, что сознательно не могут видеть ни мяч, ни человека, бросающего его, – движения осуществляются ими как будто автоматически.

Но тут есть одно «но»: работая с пациентами, имеющими нарушения в функционировании мозга, мы можем получить представление об особенностях сознания, характерных для конкретного случая – о качестве или содержании, – но это ничего не говорит нам о том, как это сознание возникает. К тому же пациент находится в сознании на протяжении всего эксперимента.

Опять же, можно работать со здоровыми субъектами, на этот раз просто наблюдая за динамическими изменениями в сознании. Некоторые исследователи даже рассматривали сознание как синоним внимания,<sup>[7]</sup> но это не одно и то же. Например, вы можете проявлять внимание без участия сознания.<sup>[8]</sup> Когда на мониторе кратковременно и неожиданно вспыхивает изображение, человек способен сформулировать его содержание, даже если времени на разглядывание было недостаточно:<sup>[9]</sup> за короткий промежуток времени в тридцать тысячных секунды можно уловить «суть» сцены без осознания конкретных деталей. Так же возможно осознание без внимания: даже будучи сосредоточенным на другой задаче, человек различит особенности периферийной сцены: например, изображение животного или транспортного средства,<sup>[10]</sup> мужского или женского лица.<sup>[11]</sup>

Эти находки удивительны и подогревают наш интерес, но они все еще не могут пролить свет на основную проблему: понимание таинственной трансформации бессознательного состояния в сознательное, дающее этот дразнящий субъективный внутренний опыт. Разумеется, драма заключается в том, что пациенты с нарушениями связи между полушариями и слепотой (или здоровые добровольцы, у которых экспериментально воспроизведены эти нарушения) постоянно пребывают в сознании: ключевое, основное явление, которое мы хотим исследовать, остается насмешливо постоянным. Важно помнить, что непереходный глагол «быть в сознании» не является взаимозаменяемым с его транзитивным аналогом «осознавать что-то».

Например, только во время «сознательных» визуальных переживаний более поздние этапы обработки зрительной информации выявляются при сканировании мозга. Но что нам на самом деле дает знание, что определенные области мозга совпадают с определенным сознательным опытом? В конце концов, корреляция может быть причиной, следствием, а может не быть ни тем ни другим. Фактическая связь между активной областью мозга и субъективным опытом не очевидна, и мы все еще очень далеки от ее понимания.

Мозг разных млекопитающих отличается по размеру, форме и внешнему виду, но тем не менее состоит из определенных участков,

которые легко различимы невооруженным глазом. Так может ли один из этих участков мозга квалифицироваться как «центр» сознания? Не правда ли, кажется замечательной идея, будто мозг состоит из автономных «центров» той или иной функции? Ведь тогда было бы намного проще понимать принципы работы мозга. Именно по этой причине в начале девятнадцатого века набирала популярность «наука» френология (от греч. «изучение ума»). Белые фарфоровые головы, исчерченные линиями сточными с каллиграфическими надписями, такими как «любовь к отечеству» и «любовь к детям», демонстрировали участки мозга, в которых были якобы «заключены» эти качества.

В настоящее время нейробиологи понимают, что это обольстительно упрощенная концепция и что на самом деле нет такой вещи, как «центр» для любой психической функции, не говоря уже о сознании. Есть две веские причины отказаться от такого понятия. Первая: просто не имеет смысла говорить, что мозг состоит из независимых мини-мозгов. В детстве я читала комикс «Олухи» («Numskulls»)<sup>[12]</sup> про маленьких человечков, которые живут внутри мужской головы. У каждого была своя работа. Например, был отдел очистки носа, а также штаб, откуда менеджер Олух звонил своим подчиненным. Мозг разделялся на комнаты, двери между ними открывались и закрывались. В определенном смысле это довольно грубая карикатура на то, как некоторые люди, говоря о «центрах» в мозге, могут непреднамеренно подстраивать под эту концепцию и сознание. Если мы будем следовать этой стратегии, наша основная проблема никогда не решится.

В любом случае, более полувека исследований показали нам, что мозг работает не так. Возьмите зрение: есть по меньшей мере тридцать различных областей мозга, которые задействованы в процессе восприятия и обработки зрительной информации. Это немного похоже на инструменты в оркестре или рецепт блюда сочень сложными ингредиентами. Каждая область мозга действительно играет свою специфическую роль, но каждая вносит вклад в целое. И результат – нечто большее, чем сумма частей, и здесь заключен сакральный момент сознательного опыта.

Тем не менее существует стойкое убеждение, что сознание должно быть каким-то образом связано с корой, внешним слоем мозга, поскольку эта область в процессе эволюции возникла позднее остальных и степень ее развития коррелирует с умственными способностями животного. Более того, кажется, что простой дезактивации коры достаточно, чтобы обеспечить потерю сознания. Мы могли бы просто сказать, что для сознания требуется полноценная кора, которая взаимодействует с

остальными частями мозга. Но на практике мы знаем, что необходимым условием является нормальная работа всего мозга. Так что идея слишком расплывчата, чтобы быть полезной.

Еще одна причина не помещать все яйца в кортексную корзину связана с исследованиями, проведенными почти семь десятилетий назад. Канадский нейрохирург-новатор Уайлдер Пенфилд предположил, что кортекс может быть не таким уж важным для сознательного опыта. Это еретическое предположение было основано на отсутствии нарушений в непрерывности сознания 750 бодрствующих пациентов, подвергавшихся хирургическим процедурам, связанным с удалением частей коры.<sup>[13]</sup> Кроме того, совсем недавно идея, что кора не играет решающей роли в сознании, была подкреплена исследованием врожденного состояния, известного как анэнцефалия/гидроанэнцефалия, при котором значительная часть головного мозга, включая кору, отсутствует. Дети, появившиеся на свет с этой патологией, тем не менее проявляют признаки бодрствования и сознания, оцениваемые стандартными неврологическими методами.<sup>[14]</sup> Наконец, в совершенно неповрежденной коре потеря сознания может возникать при абсансных припадках. Иными словами, кора не может быть вместилищем сознания.

Существенная ошибка в любом проекте, направленном на поиск локализации сознания в определенных областях мозга, становится очевидна, когда вы видите результаты сканирования мозга, иллюстрирующие эффекты анестезии. Анализируя их, можно заключить, что множество регионов вовлечено в формирование индивидуального опыта в каждый момент времени. Представьте, что на самом деле есть только один обособленный центр сознания: будь это так, вы бы точно знали, что, подвергая пациента анестезии и тем самым «отнимая» сознание, вы отключаете единственную особую область, и, несомненно, это должно быть отражено на снимках, полученных при сканировании. На деле это не так: исследования демонстрируют отсутствие единого региона в мозге, который бы отключался под воздействием анестезии. Вместо этого мы видим изменение активности по всем направлениям.<sup>[15]</sup>

Неизбежно призрачная френологическая связь между рельефами черепных костей и личностными чертами оказалась дискредитирована, поскольку прогресс в медицине сделал возможным прямое, инвазивное исследование мозга. Однако рассуждения о френологии имеют отголоски и в последующих клинических интерпретациях. По мере развития медицины врачи становились все более искусными, стало возможным спасение жизни

пациентов даже при тяжелых повреждениях головного мозга, например при пулевых ранениях, травмах и инсультах, что, в свою очередь, привело к выявлению специфических неврологических нарушений. Но ошибочные идеи френологии все еще время от времени проскальзывали: было очень заманчиво присвоить пострадавшей области мозга функцию, которая оказалась утраченной. Недостаток в этом рассуждении был отмечен одним психологом более пятидесяти лет назад: если вы извлекли деталь из радио, и устройство «завыло», вы не станете утверждать, будто функция этой детали заключалась в том, чтобы препятствовать «вою».<sup>[16]</sup> Конечно, если область мозга, о которой идет речь, неисправна, как и деталь радио, целостность системы будет нарушена, но конкретный вклад неисправного элемента нельзя экстраполировать на основании конечного симптома.<sup>[17]</sup>

Благодаря достижениям в неинвазивных методах визуализации мы знаем, какая область обычно функционирует в здоровом мозге во время определенных видов деятельности. Вы можете посмотреть на результаты сканирования и увидеть яркие пятна активности на сером фоне неактивных областей мозга или, возможно, многоцветные массивы, в которых белое пятно – эпицентр активности, спадающей к периферии сначала до желтого, затем – оранжевого, красного и фиолетового цвета. Сталкиваясь с подобными впечатляющими изображениями, важно иметь в виду, что эти снимки иллюстрируют не мгновенные процессы, а процессы, осуществляющиеся на длительных промежутках времени, то есть большая часть жизненно важной мозговой активности остается за кадром.

Для сканирования мозга характерно временное разрешение в секундах, в то время как передача потенциала действия, который является универсальной электрической сигнатурой активных клеток мозга, осуществляется на три порядка быстрее. Для наглядности можно провести аналогию с фотографиями викторианской эпохи, которые в деталях изображают статичные элементы, однако не могут запечатлеть людей и животных, которые слишком быстро перемещаются. В качестве такого статичного объекта может выступать обнаруженная при сканировании мозга опухоль или стойкое поражение после инсульта. Но они составят, в буквальном смысле, лишь малую часть общей картины.

Тем не менее некоторые ученые<sup>[18]</sup> настаивают на том, что можно «декодировать» психические состояния, сопоставляя их с изображениями головного мозга и сосредоточиваясь на пространственной структуре ответов в коре. Однако сам термин «декодирование» вводит в заблуждение. Код, по своей сути, представляет собой эквивалентное отображение в иной

системе символов, поддающееся точной расшифровке. Точки и тире не имеют смысла, если вы не знакомы с азбукой Морзе. Только зная код, вы можете осуществить декодирование. Однако субъективные психические состояния, если считать, что они действительно аналогичны точкам и тире, не преобразуются обратно в пространственно-распределенную мозговую активность (или наоборот), они являются только ее коррелятом. В науке о мозге еще нет четких представлений обо всех причинно-следственных связях, не говоря уже о схемах кодирования.<sup>[19]</sup> Пусть вы знаете, что где-то происходит нечто, но вам неизвестно, как это происходит, – не в последнюю очередь потому, что далеко не очевидно, чем именно является это «нечто», особенно когда вы наблюдаете процесс «урывками», в режиме с течением времени на два или три порядка медленнее.

Самая сложная проблема, связанная с областями мозга, претендующими на звание «центра» той или иной психической функции, кроется на уровне самой терминологии. «Центр» предполагает, что в нем все начинается и заканчивается, но нет ни одной зоны мозга, которая работала бы таким образом. Вместо этого все области мозга соединяются друг с другом через пути нервных волокон, которые обеспечивают постоянный диалог даже между областями, удаленными на большие расстояния. В этой системе нет иерархии команд, такой как, например, у матрешек, каждая из которых помещается в другую. Каждая область мозга является своего рода ретранслятором – узлом или перекрестком, но никогда – конечным пунктом назначения. Другая проблема, связанная со сканированием мозга, вытекает из того, что мы привыкли подразумевать под психическим признаком некое особенное свойство – скажем, остроумие или доброту, а не количественный признак. Мы, конечно, отмечаем частоту проявлений или их интенсивность, но скорее как качество, и, таким образом, выявляем свойство характера. Такие изысканные и сложные черты возникают вследствие удивительных взаимодействий множества различных компонентов мозга, начиная с уровня отдельных синапсов и белков и заканчивая изошренной болтовней крупномасштабных нейронных сетей. Таким образом, они бросают вызов простым определениям, их значительно сложнее выделить при визуализации, чем количественный навык: абстрактные феномены, такие как остроумие и доброта, не поддаются измерению – в отличие, скажем, от объема памяти.

Тем не менее это далеко не означает, что мы не делаем важных открытий о функциях мозга, используя эти данные. Просто мы не должны делать поспешных выводов. Возьмем известное исследование с

лондонскими таксистами, которые проходили устный экзамен на знание всех улиц и особых участков дорожной системы столицы Великобритании. Визуализация показала, что гиппокамп – участок мозга, связанный с памятью, у представителей этой профессии увеличивается из-за огромной нагрузки на их память.<sup>[20]</sup> Но это не значит, что мы можем прийти к заключению, что гиппокамп – это единственный «центр» для рассматриваемой функции: в данном случае – сложного и многогранного процесса памяти. Память включает в себя создание множества новых навыков, образов и закономерностей, а также вариантов их последующего применения. Все эти разные типы памяти и этапы обработки затрагивают множество областей и механизмов мозга.<sup>[21]</sup>

Более поздние попытки найти ключевое свойство мозга, служащее биологической основой сознания, впоследствии вдохновили не столько на выявление специфических мозговых областей, сколько на поиск их взаимосвязей. Много исследований было сосредоточено на связующем звене между внешним слоем головного мозга, корой, и глубоко расположенным таламусом, на области, которая действует как своего рода реле для разных чувств, – таламокортикальной петле. Почему она так интересует исследователей? На то есть несколько причин.

Во-первых, таламокортикальная петля не функционирует у пациентов в стойком вегетативном состоянии (например, в коме), что указывает на ее возможную ключевую роль в формировании сознания (хотя в подобных состояниях активность снижается также и в ряде других областей мозга). Во-вторых, на ранних стадиях сна нейроны таламуса и коры гораздо менее активны по сравнению с состоянием бодрствования. В-третьих, исследователи обнаружили, что непосредственное применение возбуждающего химического вещества (никотина), которое имитирует химический мессенджер в таламокортикальной петле, может восстановить сознание,<sup>[22]</sup> а повреждение таламуса приводит к его потере.<sup>[23]</sup> Наконец, анестезия может отключать сознание по причине того, что клетки таламуса перестают контролироваться сигналами обратной связи из коры, и цикл прерывается.<sup>[24]</sup> Но, несмотря на это, все же остается неясным, почему эта схема является такой значимой для сознания. Что так сильно отличает таламокортикальную петлю от прочих связей в мозге?

Во время сна кора головного мозга претерпевает периоды кратковременных всплесков возбуждения; они чередуются с периодами сниженной активности. Именно эта флуктуация в таламокортикальных сетях связана с переходом от сознательного состояния к бессознательному.

Когда клетки таламуса снижают активность, клетки-мишени в коре возвращаются к режиму работы «по умолчанию»: в эти периоды мы можем наблюдать характерные медленные мозговые ритмы, лежащие в основе бессознательного состояния.<sup>[25]</sup>

Вместо того чтобы «просто» выявлять, какие области мозга оказываются активными в определенных условиях, со временем стратегия исследований сместилась в сторону открытия сложных механизмов: где, когда и каким образом участки мозга взаимодействуют между собой путем перекрестного перекликанья широкомасштабных реверберирующих колебаний. Некоторые из этих колебаний связаны с релаксацией и сном и определяются характером взаимодействий между таламусом и корой. Между тем другие частоты, по-видимому, генерируются в определенных областях таламуса или коры и связаны с высшими когнитивными функциями, включая восприятие.<sup>[26]</sup> Если группы нейронов временно синхронизируют свою активность, этот процесс может иметь заманчивые функциональные перспективы: конкретная частота колебаний – 40 Гц – может являться особенно важным элементом некоей ключевой корреляции.<sup>[27]</sup>

Однако более поздние исследования показали, что такая синхронизация между нейронами может быть стандартным режимом для мозга, а вовсе не исключением,<sup>[28]</sup> и нет причины рассматривать какую-либо конкретную частоту как особенное, ключевое условие для возникновения сознания. Кроме того, бессознательное состояние может сопровождаться усилением синхронизации в лобных долях мозга.<sup>[29]</sup> Наконец, существует ряд сознательных переживаний, которые не связаны с синхронизированной деятельностью мозга, в то время как сильная и резкая синхронизация, как, например, во время острых припадков, на самом деле связана с потерей сознания.<sup>[30]</sup>

Главная идея, которую развивают все эти исследования, состоит в том, что анатомическая связь между таламусом и корой обеспечивает в лучшем случае необходимую, но не достаточную основу для сознания, а в худшем случае порождает больше вопросов, чем ответов.

Альтернативной тактикой может быть сосредоточение не столько на пространственной специфике работы мозга, сколько на временных рамках протекающих в нем процессов:<sup>[31]</sup> кажется очень правдоподобным, что сознание имеет место лишь тогда, когда нейронная активность поддерживается на протяжении длительного отрезка времени – порядка нескольких сотен миллисекунд. Критический интервал, разграничивающий

«видимые» и «невидимые» события, по-видимому, составляет от 270 до 500 миллисекунд:<sup>[32]</sup> известный нейробиолог Бенджамин Либет предположил, что этот период необходим для того, чтобы сформировалось осознание события, в то время как самые ранние ответы, возможно, возникли в мозге уже на 25-й миллисекунде.<sup>[33]</sup>

Существует также альтернативная интерпретация этих данных, заключающаяся в том, что решающим фактором может быть не само время, а конечное состояние, для достижения которого оно потребовалось. Не исключено, что это создание подходящего «окна», дающего возможность для «повторного входа» сигнала, своего рода продолжение реверберации «входа» и «выхода» между конкретными участками мозга.<sup>[34]</sup> Важным нюансом этой теории является то, что ни в коем случае не следует путать «повторный вход» с простой обратной связью, в результате чего некоторое существующее состояние может быть модифицировано в результате первоначального воздействия.

Обезьяны, по-видимому, реагируют на экспериментальные изображения, только когда их мозговые волны формируют характерный паттерн, который отражает тип нейрональной самонастройки,<sup>[35]</sup> что также происходит и у людей. Это предположение кажется правдоподобным. Впрочем, оно мало говорит нам о том, почему «повторный вход», накопление итераций между двумя областями мозга, имеет такое большое значение.

Давайте снова изменим тактику. В поисках убедительной связи между сознанием и определенными свойствами мозга мы также можем двигаться в противоположном направлении, фокусируясь не на связях между областями мозга, а на его самых маленьких функциональных элементах – отдельных клетках. В рамках такого подхода мы можем отслеживать функционирование отдельных нейронов у людей, перенесших операцию на головном мозге. Благодаря отсутствию в мозге болевых рецепторов, с середины двадцатого века стало возможным пребывание пациента в сознании во время операций на головном мозге.<sup>[36]</sup> Канадский хирург Уайлдер Пенфилд, который в свое время прооперировал более пятисот пациентов, смог, в частности, стимулировать открытую поверхность височной доли пациента с тяжелой формой эпилепсии. После подобных беспрецедентных процедур пациенты нередко сообщали о ярких, но похожих на сновидения «воспоминаниях». Такие «воспоминания» могут возникать при стимуляции соседних участков нервной ткани, и даже стимуляция в разное время на одном и том же участке может привести к

различным субъективным переживаниям. Эти откровения предполагают, что Пенфилд воздействовал на различные, хотя и перекрывающиеся сети нейронов, в которых один участок нервной ткани мог быть компонентом более чем одной сети, и, наоборот, разные участки могут входить в состав одной и той же сети.

Однако лишь недавно была разработана более совершенная техника регистрации активности клеток головного мозга у пациентов, находящихся в сознании, и новые данные оказались совершенно удивительными. В одном эксперименте, который сначала может показаться немного странным, клетка мозга пациента была возбуждена целыми семью различными изображениями Дженнифер Энистон, но эта же клетка никак не реагировала на восемьдесят других изображений, в том числе фотографии современных кинозвезд, таких как Джулия Робертс, или даже совместные фото Дженнифер Энистон с Брэдом Питтом. Были выявлены определенные клетки мозга, которые реагировали, повышая свою активность, только когда субъекту предъявляли фотографии той или иной знаменитости. В другом эксперименте исследователи обнаружили, что около трети наблюдаемых клеток (44 из 137) оказались также очень избирательными: в данном случае использовались фотографии Холли Берри, впоследствии отреагировавшие клетки получили название «нейроны Холли Берри».<sup>[37]</sup>

Больше всего ученых поразила согласованность откликов, даже когда субъекту были показаны весьма разнообразные фотографии одного и того же человека или объекта, – явление, известное как «инвариантность». Исследования подобного рода позволяют предположить существование когнитивной обработки на уровне отдельных нейронов. Но может ли одна клетка мозга действительно независимо осуществлять специфическую функцию? Давайте еще немного приоткроем завесу тайны...

В середине двадцатого века было популярно представление о том, что в мозге существует своего рода иерархия функций, которую можно представить как пирамиду, на вершине которой находится некий «босс». Эта концепция хорошо согласовалась с научными изысканиями 1960-х годов, когда два физиолога – Дэвид Хьюбел и Торстен Визель – совершили прорыв, который спустя 20 лет принес им Нобелевскую премию.<sup>[38]</sup> Хьюбел и Визель, используя технику регистрации отдельных нейронов, исследовали поведение нейронов зрительной зоны коры головного мозга. Эксперимент позволил выявить связь отдельных нейронов с определенным участком зрительного поля. Это означает, что отдельные нейроны

зрительной коры отвечают за стимулы, отражаемые определенной рецепторной зоной сетчатки глаза. Удивительное открытие заключалось в том, что когда они глубже проникали в мозг – дальше по пути обработки сигнала, клетки в буквальном смысле становились более избирательными. Казалось, существует иерархия избирательности в обработке зрительной информации: поскольку входной сигнал от сетчатки обрабатывался на последующих этапах в более глубоких участках мозга, рассматриваемые клетки становились более специализированными. Было, конечно же, удивительным открытием, что одна клетка мозга может иметь такую беспрецедентную индивидуальность: это породило некоторые странные экстраполяции, которые вышли за рамки органичной концепции иерархии физических свойств мозга, порождая искусственные иерархии сознания.

На вершине концептуальной иерархии должна находиться наиболее привередливая клетка мозга, в конечном итоге реагирующая только на конкретные образы, такие как лицо, или даже только на конкретное лицо. В то время ученые ссылались на гипотетический «нейрон бабушки», который, как следует из названия, будет реагировать только на внешность вашей бабушки как на конечную ступень в иерархии.<sup>[39]</sup> Однако идея о том, что единственный «нейрон бабушки» мог бы оказаться эффективным и самодостаточным минипроцессором, была в значительной степени дискредитирована – хотя бы потому, что у нас никогда нет достаточного количества клеток мозга для представления «всех возможных образов и их вариаций».<sup>[40]</sup> Тогда на помощь приходит простая логика: если у вас никогда не было бабушки, ячейка была бы лишней и потраченной впустую, или если у вас был «нейрон бабушки», но он погиб (как ежедневно гибнет бесчисленное множество нейронов) – тогда вы больше не узнали бы свою бабушку!

Более реалистичная теория, учитывающая специфичность этих одиночных нейронов, заключается в том, что некая более сложная, более поздняя обработка зрительной информации в зрительной коре способна преобразовывать различные визуальные данные в единый формат (образную инвариантность) путем хранения воспоминаний о разных ракурсах одного и того же лица или объекта в разное время.<sup>[41]</sup> Однако даже такого трюка было бы недостаточно. Оказывается, что некоторые нейроны могут быть активированы не только непосредственным изображением человека, но даже его напечатанным на бумаге именем.<sup>[42]</sup> Таким образом, наблюдаемая «инвариантность» основана на механизмах, связанных с памятью, что выводит нас далеко за пределы одной лишь

обработки зрительного сигнала. Видимо, нам стоит взглянуть иначе на феномен «нейрона бабушки», допуская, что это лишь верхушка айсберга. И хотя такие исследования дают представление о том, как мозг обретает индивидуальность и как он адаптируется к опыту человека, они не позволяют нам вникнуть в суть самого сознания. И все же в поисках возможных коррелятов сознания мы не остановимся даже на уровне отдельных нейронов, мы будем искать еще глубже, намного глубже...

Около пятнадцати лет назад математик Роджер Пенроуз и анестезиолог Стюарт Хамерофф применили совершенно другой подход.<sup>[43]</sup> Их аргумент состоял в том, что, поскольку сознание еще не было удовлетворительно описано с точки зрения пошаговых алгоритмов, разумно допустить наличие некоего неалгоритмического процесса, базирующегося на принципах квантовой физики, в рамках которой явления ведут себя не так, как предписывают традиционные теории. Эта идея не касалась ни крупных областей мозга, ни нейронных связей, ни даже отдельных клеток; вместо этого Пенроуз и Хамерофф сфокусировали внимание на микротрубочках – микроскопических жестких стержнях, которые содержатся внутри каждой клетки. Эти микротрубочки постоянно изменяют свою структуру – формируются, разрушаются и реорганизуются. Поэтому идея казалась очень перспективной, ведь их изменчивые конфигурации могли бы соответствовать целостным состояниям системы (согласно общепринятым принципам квантовой механики). Будь это так, если количество затронутых процессом нейронов станет достаточно большим, законы квантовой физики, обычно не имеющие силы в макромире, спровоцируют смещение системы в определенное физическое состояние (это явление носит название «квантовая когерентность»), которое каким-то образом могло бы соответствовать моменту возникновения сознания.<sup>[44]</sup>

Однако из схемы Пенроуза и Хамероффа рождается фундаментальный каламбур. Микротрубочки характерны для всех клеток, но только в случае с клетками мозга допускается, что они являются зоной квантового события, связанного с сознанием. Если это так, то какое уникальное свойство мозга позволяет им вести себя таким особым образом? Эта теория поднимает столько же вопросов, на сколько дает ответ.<sup>[45]</sup> Среди них и простой аргумент: одно то, что мозг не получается описать только лишь алгоритмическими принципами, не означает, что теория, предлагающая не алгоритмический процесс, должна автоматически рассматриваться как теория сознания.<sup>[46]</sup>

Давайте подведем итоги: ни одна из описанных теорий не имеет под

собой достаточного обоснования, чтобы принять ее за истину. К счастью, у нас есть альтернатива: не начинать с физического мозга и не выискивать подходящее свойство, чтобы приписывать ему способность контролировать сознание, а подойти к проблеме с другой стороны. Теперь нам нужно придумать теоретическую «модель», а затем определить, можно ли ее подтвердить методами нейронауки.

## От теории к практике

Одна из первых теоретических моделей для описания сознания была основана на концепции своего рода «классной доски» в мозге, «глобальной рабочей области». Эта теория была разработана Станисласом Деаном и его коллегами в конце 1990-х годов. Ученые предположили, что сигналы обрабатываются и координируются между несколькими входами, каждый из которых следует по определенному временному общему пути. Этот процесс должен порождать глобальное состояние, которое на короткий промежуток времени настолько доминирует в мозге, что само его существование препятствует образованию любого другого, формируя таким образом единое состояние сознания.

Эта концепция вдохновила философа Дэниела Деннета на создание модели, которую он назвал «моделью множественных проектов», позволяющей определять, какое состояние окажется доминирующим в соответствии с особенностями содержания текущего момента сознания. Он предлагает концепцию своего рода соревнования, в котором решающим фактором для доминирования является значительность содержания.<sup>[47]</sup>

Однако, как мы видели ранее на примере «нейрона бабушки», нет никакого определяющего нейронного контроллера. Модели глобальной рабочей области и множественных проектов мало помогают в понимании сознания. С другой стороны, вместо того чтобы рассматривать сознание как процесс, мы могли бы рассматривать его в качестве объекта. На первый взгляд эта идея может показаться просто глупой. Но с тех пор как в 1747 году французский врач и философ Жюльен Офре де Ламетри предположил, что «мозг выделяет мысли подобно тому, как печень выделяет желчь», многие мыслители долгое время рассуждали, действительно ли сознание может быть материальным объектом.<sup>[48]</sup> Так же как время и пространство существуют независимо от мозга, но могут быть оценены им, сознание тоже может быть независимой сущностью, которую, однако, мы пока не способны выделить. Здесь нет смысла углубляться в аргументы за или против данной идеи просто потому, что с точки зрения нейронауки это не очень полезно и нет очевидного способа преодолеть этот рубеж.

И все же не так давно альтернативная и еще более абстрактная концепция была предложена нейробиологом Джулио Тонони;<sup>[49]</sup> она носит название «теория интегрированной информации». В рамках этой теории «интегрированная информация» представляет собой уменьшение

неопределенности в отношении состояния переменной в системе. Сознание пропорционально уменьшению этой неопределенности.<sup>[50]</sup> Интегрированная информационная модель имеет преимущество перед более ранними «количественными» в том, что она может быть более точно смоделирована на компьютере,<sup>[51]</sup> однако пока неясно, что эта концепция принесет в понимание того, чем является сознание и как оно связано с физическим мозгом.

Кое-кто, например технолог и футурист Рэй Курцвейл, делает ставку на сложность, независимо от биологических свойств: в 2012 году Курцвейл предположил, что «искусственный интеллект достигнет уровня человеческого примерно к 2029 году. А, скажем, к 2045 году мы умножим интеллектуальный уровень нашей цивилизации в миллиард раз».<sup>[52]</sup> Считает ли Курцвейл, что, создавая все более сложные машины, человечество добьется того, что сознание появится спонтанно и неминуемо, как кролик из вычислительной шляпы?<sup>[53]</sup> Если бы дело было исключительно в «сложности», тогда сознание не оказалось бы свойством только лишь биологических систем, сам материал не имел бы значения – только соотношение элементов, как однажды заметил философ Джон Серл.

Но здесь явно чего-то не хватает. Каждый нейрон непохож на винтик или шестеренку – он сам по себе очень динамичен. Сто миллиардов нейронов, составляющих ваш мозг, – это не фиксированные элементы, которые могли бы функционировать строго последовательно, независимо от изменений в окружающей среде. Более того, проявления непрерывного динамизма – это непрекращающиеся анатомические изменения в конфигурации каждого нейрона: легкость, с которой сигналы возбуждают эти клетки, существенно варьируется от момента к моменту в зависимости от наличия разнообразных «модулирующих» факторов.<sup>[54]</sup> Мозг – это постоянно меняющийся калейдоскоп взаимодействующих изменчивых элементов; он непохож на жесткую схему вычислительного устройства. Развивая эту мысль, мы сталкиваемся с ощущением огромной необъятной тайны. Очевидно, что прежние стратегии и тактики не помогут нам расставить все на свои места и что пришло время совершенно иного подхода.

## Что же дальше?

Мы во что бы то ни стало должны решить эту загадку: как «вода» объективных процессов превращается в «вино» субъективного сознания<sup>[55]</sup> – так называемую «трудную проблему сознания».<sup>[56]</sup> Но нам до сих пор не удалось сделать это с помощью классических подходов – «от эксперимента к теории» и наоборот. Мы должны отойти от упрощённых концепций, возможно, необходимых, но недостижимых нейрональных коррелятов сознания и от невнятных моделей, чтобы выявить более верную и детальную связь между объективной физиологией и субъективной феноменологией. Однако путь решения далеко не очевиден.

Проблема заключается в том, что природа ментального кажется совершенно не имеющей ничего общего с природой физических процессов. Наша задача на начальном этапе – понять взаимосвязь между психическими свойствами сознания и физическими свойствами мозга, где физиология и феноменология наделяются равным весом и постоянно перекрестно сопоставляются друг с другом. Новый подход, который будет описан в этой книге, состоит в том, что изучение феноменологии рассматривается как ключ к пониманию связи между ментальным и физическим. Вместо того чтобы сразу тянуться к скальпелю, вглядываться в клетки мозга и изучать химические формулы в надежде, что мы сможем найти Ответ На Все Вопросы, следует прежде выяснить, что нам потребуется знать о повседневном сознании.

Мы рассмотрим, вероятно, не исчерпывающий, но охватывающий многие вопросы список ситуаций из реальной жизни. Именно такой подход позволит нам понять, как возникают свойственные всем нам индивидуальные переживания, и, если повезет, мы обнаружим общие принципы и закономерности.

Во-первых, почему будильник заставляет вас просыпаться? А ведь это одна из неоспоримых фундаментальных особенностей сознания. Во-вторых, какова разница между человеческим сознанием и сознанием животного, между сознанием взрослого и младенца? В-третьих, почему каждому человеку свойственны очень разные субъективные зрительные и слуховые ощущения? В-четвертых, как окружающая среда влияет на наше сознание? В-пятых, как психические состояния, например шизофрения, депрессия и болезнь Альцгеймера, и как наркотики и алкоголь меняют наше сознание? В-шестых, как субъективный опыт сна отличается от

субъективного опыта бодрствования? И наконец, почему порой так сильно меняется наше ощущение времени?

Только после рассмотрения этих вопросов мы должны определить, что мы будем измерять в мозге. Вместо того чтобы выбрать одну функцию с самого начала, мы положимся на повседневный опыт. Как оказалось, каждый элемент удобно соответствует разным этапам «типичного» дня, поэтому «вы» будете нашим проводником. И поскольку мы отслеживаем «ваш» день, мы будем постоянно переключаться между физическим и феноменологическим, объективным и субъективным. Снаружи светлеет. Уже слышен сигнал будильника...

## Пробуждение

Пронзительный звук наполняет ваш череп. Туманная завеса, изолирующая вас от внешнего мира, испаряется, по мере того как сигнал становится все более назойливым. Нащупав в темноте источник шума, вы наконец восстанавливаете тишину. Но дьявольское устройство уже сделало свое дело: вы проснулись. Тем не менее вы еще не погрузились в окружающую реальность. Глаза пока закрыты, вы чувствуете, как образы медленно всплывают в сознании...

## Сон

Нейробиологам давно известно, что бессознательность сна имеет градации. Фактически за предыдущую ночь вы прошли приблизительно пять циклов сна, многократно приближаясь к поверхностным и наиболее глубоким уровням. В течение первых пяти или десяти минут, когда реальность только начинает «уплывать» от вас, вы все еще были относительно бдительны. Если бы кто-то попытался вас разбудить, вы могли бы даже сказать, что вы ни в коем случае не спите. Это первый этап, начало цикла и начало вашего погружения в бессознательное. Иногда в этот период вы испытываете странные и чрезвычайно яркие ощущения, как будто падаете или слышите, как кто-то произносит ваше имя. Иногда тело как будто пронзает сплошная судорога – это явление известно как «миоклонический рефлекс»: мышцы невольно сокращаются, казалось бы, совершенно без причины. На протяжении первого этапа, если бы у вас на голове были закреплены электроды, электроэнцефалограмма (ЭЭГ) регистрировала бы характерный рисунок небольших и быстрых мозговых волн (тета-волн).<sup>[57]</sup>

Затем, по мере того как вы расслабляетесь, в течение следующих двадцати минут мозг начинает генерировать дополнительные сложные электрические сигнатуры волны (от восьми до пятнадцати циклов в секунду). Это второй этап. Затем температура тела снижается, пульс замедляется. Именно в этот момент вы переходите от поверхностного сна к глубокому – это третий этап. Профиль мозговых волн на ЭЭГ замедляется еще больше, периодичность составляет уже от двух до четырех циклов в секунду. Когда эти «дельта-волны» замедляются еще сильнее, формируя от половины до двух циклов в секунду, вы входите в наиболее глубокую, четвертую фазу сна.

Примерно через тридцать минут мозг возвращается к третьей фазе, а затем ко второй. Зачем? Несомненно, было бы проще, если бы бессознательность оставалась просто устойчивым состоянием. Одна из возможных причин заключается в том, что глубокое, почти коматозное состояние в течение длительного времени может быть чревато: мир полон опасностей, надо быть начеку. Кроме того, продолжительность фаз сна меняется в течение ночи: возможно, мозг подстраивает их под свои потребности. В середине ночи четвертая фаза завершается практически полностью, а следующая за ней пятая фаза становится доминантой и

продолжается почти час.<sup>[58]</sup>

Пятую фазу называют также фазой «быстрого сна» (REM), потому что ваши глаза активно двигаются под закрытыми веками. Тем временем глубина и частота дыхания увеличиваются, ЭЭГ выявляет профиль быстрых нерегулярных волн, свидетельствующих о повышенной умственной активности, сопоставимой с активностью во время бодрствования: сны (которые позже будут рассмотрены более подробно) мы видим именно в этой фазе, хотя и не на всем ее протяжении. Несмотря на напряженную умственную деятельность во время этой фазы, ваши мышцы, напротив, наиболее расслаблены, возникает сонный паралич: «быстрый сон» также известен как «парадоксальный сон», поскольку вы как будто находитесь в сознании, но при этом обездвижены. Просто вспомните ситуации, которые обычно возникают в кошмарах, когда вы пытаетесь убежать от опасности, но странным образом обнаруживаете себя неподвижным. Эта фаза повторяется четыре-пять раз в течение ночи.<sup>[59]</sup> Но как же осуществляется контроль циклов сна?

Давно известно, что в основе регуляции этих циклов лежит выделение конкретных химических передатчиков – нейротрансмиттеров. Выступая в роли посредников между двумя нейронами, эти вещества путем диффузии перемещаются от одной клеточной мембраны (пресинаптической) к другой (постсинаптической) через узкую щель – синапс: они запускают в постсинаптическом нейроне каскад реакций, вызывающих «возбуждение» либо «торможение». На языке нейробиологии торможение – это просто уменьшение вероятности того, что нейрон сможет генерировать потенциал действия (электрический импульс). Возбуждение же, напротив, увеличение вероятности. Этот жизненно важный электрический импульс длится около одной тысячной доли секунды (примерно 1 миллисекунду) и является универсальным признаком того, что клетка мозга активна и сигнализирует об этом следующей клетке. Возбужденный нейрон будет генерировать залпы потенциалов действия на высокой скорости, в то время как тот, что «заторможен», может вовсе молчать.

Передатчики, контролирующие сон, бодрствование и сновидения, – близкие по молекулярной структуре дофамин, норадреналин, гистамин и серотонин, вместе с четвертым – ацетилхолином, чуть более далеким «родственником», – наиболее известные и хорошо исследованные нейротрансмиттеры.<sup>[60]</sup> Но действительно большой интерес представляют особенности их распространения и локализации: они могут больше, чем просто осуществлять связь между двумя нейронами через синаптическую

щель, но вместо этого они работают по принципу садовых распылителей. Разумеется, на то должны быть причины. Каждый член этого химического семейства играет свою ключевую роль в контроле сна и бодрствования. Уровни норадреналина и его химического предшественник дофамина, а также серотонина и гистамина наиболее высоки в процессе бодрствования, но значительно снижаются во время нормального сна и практически отсутствуют в пятой фазе.<sup>[61]</sup> Между тем ацетилхолин все равно «работает».<sup>[62]</sup> Так за что же отвечают эти передатчики?

Оказывается, эти молекулы ведут двойную жизнь и могут действовать в совершенно альтернативной роли – в качестве модуляторов.<sup>[63]</sup> Модулятор не вызывает немедленного торможения или возбуждения: вместо этого он влияет на то, как клетка мозга будет реагировать на входной сигнал в течение некоторого временного интервала в будущем. Чтобы лучше понять, как это происходит, представим такую ситуацию: вы работаете в офисе, и сегодня прошел слух о повышении зарплаты. Сам по себе слух не заставит сотрудников, скажем, поднять трубку молчащего телефона. Однако когда поступает стандартный сигнал – телефонный звонок, сотрудник будет отвечать на него быстрее и охотнее. Модулятор работает та к же, как этот слух: сам по себе он не вызывает эффекта, но усиливает последующее событие.<sup>[64]</sup>

Теория и практика показывают, что классификация нейротрансмиттеров как однозначно тормозных или возбуждающих была бы ошибочна. Все зависит от времени и конкретного участка мозга, в котором они работают. Так, в течение определенного периода времени эффекты входящего раздражителя (другого передатчика) будут отличаться в присутствии модулятора вплоть до того, что эффект раздражителя может быть полностью нивелирован. Таким образом, огромное значение модуляции заключается в изменении временных рамок для процессов передачи сигнала в мозге. Такая тонкая регуляция никогда бы не была возможна при простой передаче сигнала.

Пока вы спали и теперь, когда вы лежите в полудреме, уровни этих вездесущих модуляторов поднимаются и падают в разные моменты времени, поддерживая различные стадии сна, располагая большие популяции клеток мозга быть более активными либо спокойными. Поэтому весьма вероятно, что при этом модуляторы вносят важный вклад в формирование сознания и бессознательности, а также в регуляцию перехода между ними. Но мы только что выяснили, что погружение в сон и выход из него – постепенный процесс: это говорит о том, что модуляторы

действуют не как клавишный выключатель. Скорее, они работают как своего рода регулятор яркости...

## Анестезия

Поскольку сон – это ступенчатый процесс, не кажется удивительным, что другая известная форма бессознательного – анестезия – может также варьировать по глубине. Генри Хикман, «отец анестезии», впервые использовал углекислый газ для погружения пациента в бессознательное состояние в 1820-х годах. Однако только в 1937 году американский врач Артур Эрнест Гедель описал четыре стадии анестезии. В середине двадцатого века ингаляционные анестетики были гораздо менее эффективны, чем современные, поэтому их действие было относительно медленным: этот недостаток тем не менее помог Геделю обнаружить характерные этапы постепенного процесса потери сознания. В наши дни при внутривенном введении мощных анестетиков эти этапы не столь очевидны, но они есть, хотя и протекают в значительно ускоренном темпе. На первом этапе вы испытываете аналгезию (от греч. «отсутствие боли»): это состояние может быть подтверждено потерей чувствительности, скажем, при уколе руки иглой. Любая боль, которую вы испытывали, исчезает. Вы, вероятно, даже не заметите этого и даже сможете продолжать говорить. Затем вы теряете сознание, и наступает вторая стадия анестезии, в которой ваше тело будет, тем не менее, демонстрировать признаки волнения, возможно, бреда. Зрачки расширяются, дыхание и частота сердечных сокращений становятся нерегулярными. Вы можете также совершать неконтролируемые, произвольные движения, в редких случаях бывает рвота. Когда вы входите в третью стадию, так называемую хирургическую анестезию, ваши мышцы расслабляются, дыхание сильно замедляется. Глаза, которые только что закатывались вверх, становятся фиксированными, утрачивается рефлекс роговицы (мигательный рефлекс на прикосновение к глазу), а также пропадает реакция сужения зрачка на свет. Дыхание становится едва заметным. Наконец, наступает глубокое бессознательное состояние – вы готовы к операции.<sup>[65]</sup>

Таким образом, анестезия, как и сон, является постепенным процессом. Медленно развивающиеся эффекты потери сознания перед операцией могут быть выявлены с помощью анализа ЭЭГ пациента с использованием метода, введенного около двадцати лет назад. Процедура выявляет биспектральный индекс (BIS) – меру уровня сознания (или, скорее, бессознательности) во время анестезии. Идея использования BIS заключается в том, чтобы избежать кошмарных сценариев: либо слишком

мощной анестезии, способной привести к смертельному исходу, либо слишком слабой, при которой пациент все равно остается в полубессознательном состоянии, ощущая тревогу, но не имея возможности сообщить об этом из-за воздействия мышечных релаксантов, вызывающих паралич и препятствующих речи.<sup>[66]</sup>

Однако проблема индекса BIS заключается в том, что он не дает одинаково точных значений для различных анестетиков. Поэтому для того, чтобы определить, какие механизмы мозга задействованы в процессе, нам необходимо решить очевидный парадокс: с одной стороны, разные анестетики должны влиять на разные нейронные процессы, а значит, и на разные участки мозга. С другой стороны, все они, тем не менее, приводят к одной и той же конечной цели – к равномерной потере сознания. Среди анестезиологов популярны две конкурирующие теории, которые пытаются разрешить эту загадку. Одна заключается в том, что существует единственный общий путь, лежащий в основе потери сознания. Другая – что есть множество различных состояний мозга с неотличимыми внешними проявлениями.

Основная проблема, препятствующая реальному пониманию того, какой из этих двух сценариев более вероятен, заключается в том, что методики сравнения анестезирующих средств различаются, поэтому трудно сопоставлять результаты объективно.<sup>[67]</sup> И все же, хотя открытие общего механизма бессознательности является неотложным приоритетом, неоспоримый факт заключается в том, что бессознательность сама по себе является переменной по глубине.

## Сознание как переменная

Если бессознательное приходит на смену сознательному ступенчато, как во сне, так и под воздействием анестезии, то может ли сознание также иметь градации? Если сознание действительно изменчиво, тогда легче будет получить ответы на многие вопросы. Например, свойственно ли сознание плоду?

К концу четвертой недели беременности эмбрион человека уже имеет три мозговые структуры – передний, средний и задний мозг, которые начинают функционировать в течение последующей недели.<sup>[68]</sup> Возможно ли, что это и есть зарождение крошечного сознания? И если да, то как оно происходит? Просто предположите на мгновение, что плод бессознателен. Но если так, когда же все меняется? Возможно, когда ребенок в конце концов проходит через родовой канал? В таком случае вы столкнетесь с довольно печальной перспективой, если вам случится родиться путем кесарева сечения, – вы никогда не будете сознательными на протяжении всей своей жизни. «Это абсурд», – скажете вы. Потому, пожалуй, решающим является полноценное внутриутробное развитие в течение сорока недель. Тем не менее трудно представить себе родителей недоношенного ребенка, которые говорят: «Смотрите, сегодня девять месяцев с момента зачатия. Малыш вчера ничего не осознавал, но сегодня станет сознательным». Очевидно, что это безумие не только с точки зрения здравого смысла и правдоподобия, но и потому, что мозгу безразлично, получает он кислород через пуповину или нос. Таким образом, возникает вопрос: когда же плод действительно становится сознательным? В конце концов, нет четкой линии, нет рубежа, который пересекается по мере того, как плод растет в утробе матери. Ни изменение в физиологии мозга и, конечно, ни факт рождения внезапно не вызывают появления сознания как по щелчку пальцев.

Более реалистичным и научным подходом было бы полностью отвергнуть предположение о том, что плод до рождения не сознателен. Вместе с этим мы также можем избавиться от неудобного представления о том, что сознание работает, как кухонный комбайн. Давайте вместо этого вернемся к образумиммер-переключателя и подумаем о сознании как о результате количественного увеличения объема и формирования структуры мозга в процессе развития. Иными словами, сознание должно расти, когда растет биологический мозг, как в индивидуальном развитии, так и в

филогенезе.<sup>[69]</sup> А что, если мы сможем найти еще некий неопознанный процесс, который имеет свойство непрерывно меняться? Если бы мы могли это сделать, тогда стал бы возможным более конструктивный подход к обнаружению важной корреляции. Итак, наконец у нас есть кое-что, хотя все еще очень неопределенное. Куда мы движемся дальше, идентифицируя это «кое-что»?

Разумно начать изучение этого вопроса с макромасштабных участков мозга, таких как лобная кора, таламус или гиппокамп: в конце концов, они видны невооруженным глазом и их меняющиеся паттерны активности знакомы нам как красивые цветные изображения, которые мы видим при сканировании мозга. Естественно, разнообразные области, играющие очевидную роль в сознании,<sup>[70]</sup> тщательно задокументированы и перечислены: возможно, неудивительно, что они разбросаны по всему мозгу.<sup>[71]</sup> Непосредственно камнем преткновения здесь является то, что действие анестетиков при ингибировании определенной конкретной области не обязательно приводит к бессознательному состоянию. Таким образом, неизбежный вывод состоит в том, что это ключевой комплекс областей мозга, которые необходимо деактивировать согласованно, чтобы гарантировать полную потерю сознания. Очевидно, что бессознательность и, в более широком смысле, сознание будут зависеть в значительной степени от взаимосвязи между различными областями мозга.<sup>[72]</sup> В подтверждение этой идеи исследования показывают, что в глубоком сне ключевое изменение происходит, когда связь между областями мозга нарушается, вследствие чего сигналы передаются менее эффективно.<sup>[73]</sup> Но одно дело утверждать, что связь между разными областями мозга является крайне важной, – это и так ясно. Совсем другое, как мы видели в главе 1, разобраться, какова схема минимального комплекта этих областей или ключевой процесс и где, в таком случае, он протекает. Кроме того, мы не до конца понимаем, можно ли нивелировать бессознательность во время сна и в состоянии наркоза, – ключевые процессы, которые осуществляются во время этих состояний, еще предстоит оценить должным образом.

Итак, как мы можем объять необъятное – разложить по полочкам все детали дифференцированного, качественно меняющегося процесса? Единственный ответ заключается в том, что в основе бессознательного лежит не какой-то мозговой переключатель внутри или между ключевыми областями мозга, а некий процесс, который еще не был достоверно выявлен с точки зрения нейроанатомии, который, возможно, даже не укладывается в рамки критерия «все или ничего».

Когда я только начинала изучать нейронауку, обычной практикой было пытаться объяснить мозговые процессы, рисуя схемы, в которых участки мозга изображаются в виде аккуратных прямоугольников со стрелками между ними, с символами «+» или «-», обозначающими простое возбуждение или торможение. Однако мы только что видели, что нейронным связям свойственны эффекты модуляции: любое торможение или возбуждение между группами клеток или внутри них будет зависеть от их текущего состояния в каждый момент времени. Это означает, что нам надо искать какой-то дополнительный вид механизма, который может функционировать на уровне, превышающем уровень одиночных нейронов. Как мы уже знаем, они не функционируют как автономные единицы. Более того, каким бы ни был этот новый механизм, прежде всего он должен быть пластичным, непрерывно меняющимся от одного момента к другому.

## Нейронные ансамбли

Еще в 1949 году канадский психолог Дональд Хебб представил революционную идею о том, что нейроны могут адаптироваться к пережитым событиям – в некотором смысле учиться. Хебб показал, что нейроны, находящиеся в непосредственной близости друг к другу, имеют тенденцию к синхронизации, то есть их активность согласована: находясь в этом состоянии, они образуют единую функциональную сеть, операции которой могут выходить далеко за пределы триггерной зоны. Далее ученый предположил, что если действительно возникает такая коллективная активность, тогда эти нейронные сети могли бы провоцировать гораздо более длительные изменения в синапсах, что, в свою очередь, привело бы к длительной, укрепленной связи между клетками головного мозга внутри этой сети. Почему же эта идея считается таким прорывом?

Провидческая теория впервые объяснила, как мозг может адаптироваться к входным сигналам и, следовательно, к окружающей среде, – феномен, который был назван пластичностью (от греческого *plastikos* – пригодный для лепки).<sup>[74]</sup> Пластичность теперь признана ключевым свойством мозга, хотя у разных видов животных она проявляется в неравной степени. У таких примитивных, как, скажем, золотая рыбка, поведение все же наиболее тесно связано с генами. У ее мозга не так много нейронных связей, поэтому окружающая среда будет иметь меньшее влияние, чем у более высокоорганизованных животных, для которых индивидуальный опыт в буквальном смысле может оставить отпечаток в мозге.

Среди представителей царства животных мы, люди, обладаем наиболее развитой способностью к адаптации, поэтому занимаем больше экологических ниш, чем любой другой вид на планете, – мы можем жить и процветать в самых разных уголках земного шара, от джунглей до Арктики. Феноменальная пластичность нейронных связей человеческого мозга также означает наибольший потенциал среди всех видов, чтобы каждый из нас мог стать поистине уникальной личностью благодаря индивидуальному опыту – благодаря адаптируемым синапсам Хебба.

Идея Хебба была подтверждена эмпирически несколькими десятилетиями позже, когда нейробиологам удалось выявить клеточный механизм долговременной, относительно медленной адаптации, локализованной в отдельных синапсах. Этот механизм во многом объясняет

различные явления в неврологии и психологии, в частности те, что связаны с обучением и памятью. Тем не менее, хотя за последние несколько десятилетий эта парадигма была успешно применена и исследована в бесчисленных публикациях, существует дилемма: мы можем исследовать мозг, как это сделал Хебб, – на уровне клеток, синапсов и передатчиков (подход «снизу вверх») или же сосредоточиться на конечных функциях мозга и его макроуровневых зонах (стратегия, которая, в отличие от первой, получила название «сверху вниз»).

Но как перейти с одного уровня на другой?

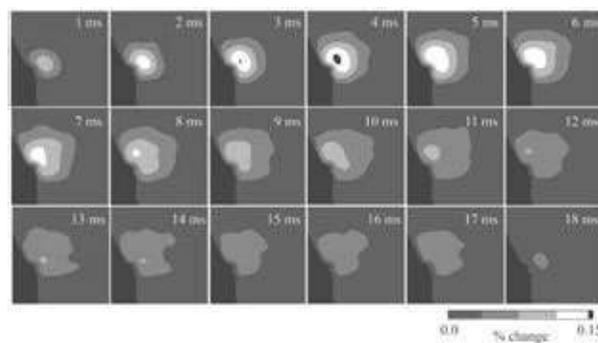
Должен существовать некий способ, с помощью которого эти маленькие локализованные сети нейронов могут влиять на взаимодействие между определенными областями мозга, порождая когнитивные процессы, такие как запоминание и формирование опыта, определяющие нашу индивидуальность. Иными словами, должен быть мост между макромасштабным («сверху вниз») и микромасштабным («снизу вверх»). Хебб не знал, удастся ли нам продвинуться дальше. Но он полагал, что эта локальная активация могла бы, в гораздо больших масштабах, в конечном итоге привести к согласованности в глобальной активности и функционировать во многих других нейронах.<sup>[75]</sup>

Эти гипотетические, гораздо более масштабные нейронные соединения в течение многих лет невозможно было зарегистрировать в реальности. Они слишком обширны, чтобы изучить их при помощи методов классической электрофизиологии, которые позволяют наблюдать одновременно лишь несколько нейронов, также эти связи не выявляются и при стандартном сканировании мозга. Помните, что у изображений головного мозга скорость обновления кадров в тысячу раз медленнее скорости, с которой осуществляются нейронные взаимодействия: как и в случае старых викторианских фотографий, упомянутых в главе 1, с их долгой выдержкой, ограничивающей содержание фото лишь статичными объектами. Поэтому все, что можно увидеть с помощью обычного аппарата МРТ, является постоянной активностью в течение нескольких секунд.

Итак, как же ученые смогли узнать, верна ли теория Хебба? Задача состояла в том, чтобы найти способ связать обработку сигнала «сверху вниз» и «снизу вверх». Но все, что нейронаука имела в своем арсенале, – это методы регистрации локализованных сигналов при помощи нескольких электродов и стандартные методы визуализации. Затем, в 90-е годы прошлого века, появилась новая технология – визуализация при помощи потенциал-чувствительных красителей (VSDI). Ее разработал нейробиолог

Амирам Гринвальд и его коллеги в Институте Вейцмана в Израиле.<sup>[76]</sup> С помощью этой технологии неожиданно стало возможным обнаружить явления, которые остались бы скрытыми при обычном неинвазивном методе имиджинга.<sup>[77]</sup> Как следует из названия, VSDI выявляет значения потенциала на клеточной мембране и, следовательно, динамику активности нейронов. Поскольку краситель внедряется в мембрану, это означает, что считывание является прямым, поэтому метод эффективен практически в мгновенном масштабе времени. Теперь, благодаря этому методу, мы можем увидеть в очень быстрых временных масштабах, соизмеримых с реальными событиями в мозге, что между клеточным уровнем операций и уровнем анатомически различных областей головного мозга действительно есть промежуточная ступень обработки сигнала, благодаря которой обширные группы нейронов работают как единое целое.

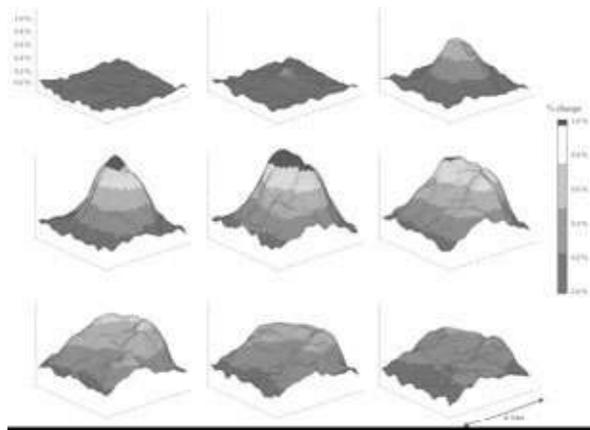
Рисунок 1 взят из работы моей собственной исследовательской группы в Оксфорде, где мы работаем со срезами головного мозга крыс с использованием VSDI. Результирующая активность после короткого электрического импульса отражена при помощи цветовой шкалы. Красный цвет (на рисунке – белый) обозначает наибольшую активность, фиолетовый (на рисунке – темно-серый) – наименьшую. Между тем зона диаметром в несколько миллиметров, в которой все происходит, велика по сравнению с одной клеткой, но довольно мала по сравнению с анатомически обособленной областью мозга: это истинный мезомасштабный уровень. Обратите внимание, в частности, на очень высокое временное разрешение: в течение 8 миллисекунд коллективная активность достигает максимума, а затем, в конечном счете, почти сходит на нет – в данном случае примерно к 20-й миллисекунде эксперимента. Этот процесс прежде не мог быть обнаружен при обычном сканировании мозга.



**Рис. 1.** Визуализация «ансамбля». Последовательность изображений, сделанных с временным промежутком в 0,001 секунды, демонстрирующая широко распространяющуюся активность, регистрируемую с помощью

потенциал-чувствительных красителей в срезе крысиного мозга после импульса стимуляции длительностью в 0,1 микросекунды. Наивысшая активность наблюдается в центре и постепенно снижается к периферии, напоминая круги от брошенного в воду камня. (Badin&Greenfield, неопубликованное)

Поскольку эти крупномасштабные, но эфемерные вспышки согласованной активности нейронов по-прежнему довольно мало изучены и до сих пор нет четкого консенсуса относительно их строгого определения, они упоминаются под разными названиями. В нашей группе мы называем их «нейронными ансамблями» и определяем как переменные эфемерные (субсекундные) макромасштабные объединения клеток головного мозга (например, около 10 миллионов или более), которые не ограничены или не определены анатомическими областями или системами мозга.<sup>[78]</sup>



**Рис. 2.** Кадры в формате 3D, снятые с промежутком в 5 миллисекунд, демонстрирующие нейронный ансамбль, сформированный в интактной сенсорной коре обезглавленной крысы, активированный прикосновением к вибриссе. Обратите внимание, что диаметр ансамбля измеряется примерно на 6–7 мм выше уровня фонового шума.<sup>[79]</sup> Детальное моделирование таких пространственных структур прежде было невозможно при использовании стандартных электрофизиологических методов

Хотя визуализация в срезах головного мозга и может выявлять «гайки и болты» нейронных ансамблей, картина не будет полной без рассмотрения неповрежденного мозга животного (как говорится, *in vivo*). В таких экспериментах триггером может быть, скажем, вспышка света<sup>[80]</sup> или прикосновение кусам крысы (рис. 2).

Однако и в срезах, и в неповрежденном мозге под воздействием анестезии активность в ансамбле напоминает рябь от брошенного в воду камня. И так же как сам камень намного меньше, чем расходящиеся от него круги, в ответ даже на короткий стимул света возбуждение распространяется на немалую площадь,<sup>[81]</sup> значительно превышающую площади устойчивых тривиальных нейронных цепей в коре.<sup>[82]</sup>

Однако когда вы пользуетесь оптическими методами для наблюдения за мозгом анестезированного животного, вы также можете увидеть нечто такое, что нельзя увидеть в срезах мозга. Например, что в мозге даже без какой-либо очевидной стимуляции постоянно происходят крупномасштабные колебания активности. Нейроны действуют как мини-осцилляторы, которые соединены в цепи с разными временными задержками.<sup>[83]</sup> С учетом правильного соотношения свойств в группе нейронов, эти колебания могут продолжаться бесконечно, обеспечивая фоновую активность.<sup>[84]</sup>

Когда мы думаем о том, как функционирует мозг, в голову приходит ассоциация с компьютером. Но мозг – это не бескомпромиссно организованная структура с фиксированными соединениями, бинарными функциональными состояниями включения /отключения. Нельзя отрицать, что такие связи существуют на локализованном уровне и в мозге, но это совсем другая история. Иными словами, мозг не является строго организованной структурой. Напротив, он больше похож на вздымающийся океан – иногда относительно спокойный, но изменчивый, а порой бурный. Наложение на эту нейронную турбулентность единичных триггеров, будь то сигналы, зародившиеся в самом мозге или же вызванные внешним сенсорным раздражителем, вызывает активацию соответствующих нейронных ансамблей.<sup>[85]</sup>

Но являются ли нейронные ансамбли частью пазла, который мы должны собрать, чтобы понять, что такое сознание? Если да, то они должны быть подвержены действию факторов, заведомо влияющих на глубину сознания. Например, воздействию анестетиков. Ранее мы видели, что основным парадоксом анестезирующих средств является то, что не выявлено единого механизма, обуславливающего их действие. Эти препараты доступны во всех мыслимых формах и концентрациях, а в их химической структуре нет такого сходства, которое позволило бы выделить их как отдельную группу, в отличие от других психоактивных препаратов, даже тех, которые несут дополнительную функцию, как, например, обезболивающие (анальгетики). Примечательно, что на микроуровне

анестетики и анальгетики в ряде случаев могут вызывать схожие эффекты: снижение активности – так называемое торможение. Но где же скрывается важное функциональное отличие между теми препаратами, что снимают боль, и теми, что «отнимают» сознание?

В одном из экспериментов мы сравнили способность химически разнообразных анестетиков и болеутоляющих оказывать влияние на динамику нейронных ансамблей. Оказалось, что болеутоляющие средства никак не влияют на ансамбли в срезах мозга, но два анестетика вызвали заметные изменения. И хотя они очень отличаются друг от друга по химической структуре, оба вызывают модификации в ансамблях, увеличивая продолжительность сетевой активности в них. Таким образом, анестетики, несмотря на различие механизмов действия на микроуровне, могут демонстрировать аналогичные эффекты на мезомасштабном уровне нейронных ансамблей. Клинической медицине известны случаи, когда длительные судороги вызывали потерю сознания,<sup>[86]</sup> поэтому здесь длительная активация ансамбля потенциально может способствовать достижению аналогичного результата. Однако срезы мозга, которые мы рассматривали, не могут «потерять сознание», поскольку они никогда не были сознательными. Эта курьезная проблема кажется неразрешимой. Тем не менее нам хотелось бы смоделировать ситуацию, в которой, работая со срезом мозга, мы могли каким-то образом имитировать такой переход между бессознательностью и сознанием.

Одно из возможных решений заключается в использовании противоречивого, но общеизвестного факта: под воздействием экстремально высоких атмосферных давлений эффекты потери сознания при продолжающейся анестезии обращаются вспять – животные просыпаются.<sup>[87]</sup> Будет ли подобное изменение в среде оказывать влияние на динамику нейронных ансамблей в неповрежденном мозге? А в срезах? И если да, то как?..

Мы провели эксперимент, в ходе которого при очень высоком давлении, когда эффекты анестезии были полностью инвертированы (32 атмосферы), к нашему удивлению, нейронный ансамбль в срезе мозга значительно увеличился, что указывает на коллективную активность гораздо большей популяции нейронов.<sup>[88]</sup> Это заставляет нас утвердиться в идее, что между функционированием нейронных ансамблей и глубиной сознания существует некая корреляция. Экспериментальные условия, которые резко изменяют состояние сознания, так же кардинально изменяют активность ансамблей в определенной области мозга.,<sup>[89][90]</sup> Следующий

этап – проверить эффекты анестетиков в более естественных условиях.

С этой целью мы исследовали эффекты анестезии у живой крысы. Метод исследования подразумевает хирургическое вмешательство, поэтому очевидно, что животное должно находиться под воздействием анестезии на протяжении всего эксперимента. Однако благодаря умению регулировать ее глубину, мы можем сравнить поверхностные уровни анестезии с гораздо более глубокими. Оказалось, что в мозге крысы в ответ на раздражение формируется ансамбль, размер которого значительно больше в условиях слабой анестезии по сравнению с ее наиболее глубокими стадиями.<sup>[91]</sup> По мере увеличения дозы анестетика размер ансамбля уменьшается.

Кроме того, скорость генерации ансамбля выше в условиях легкой анестезии. И наконец, отмечается эффект увеличения продолжительности сетевой активности – точно такой же, как мы видели ранее в экспериментах на срезах: под воздействием наиболее глубокой анестезии возбуждение, вызванное отклонением вибриссы, поддерживается значительно дольше, что, в свою очередь, препятствует формированию новых ансамблей.

Таким образом, мы можем заключить, что нейронные ансамбли каким-то образом связаны с сознанием по ряду причин: во-первых, они в большей степени подвержены воздействию анестезирующих средств, чем анальгетиков;<sup>[92]</sup> во-вторых, они чувствительны к экстремально высоким значениям давления, что коррелирует с эффектом «обратной анестезии»,<sup>[93]</sup> и, наконец, они отражают различную глубину анестезии.<sup>[94]</sup>

Однако попытка собрать воедино эти три совершенно разных экспериментальных вывода пока была бы преждевременна: нам следует провести больше наблюдений в течение дня, прежде чем мы попытаемся вывести какую-либо всеобъемлющую теорию. Тем не менее мы уже нашли несколько кусочков пазла.

Динамика ансамблей и эффекты анестетиков могут хорошо коррелировать, но эта корреляция сама по себе – далеко не показатель глубины сознания. Тем не менее анестезиолог Брайан Поллард и его команда в Манчестерском университете<sup>[95]</sup> самостоятельно разработали методику, еще раз подтверждающую наличие взаимосвязи между нейронными ансамблями и сознанием. Это функциональная электроимпедансная томография по реакции отклика (fEITER). Экспериментальная установка посылает в мозг электрический стимул, а затем регистрирует импеданс. Временное разрешение метода составляет около 500 микросекунд, что в 2 раза превосходит разрешение в VSDI!<sup>[96]</sup> В то время как оптический имиджинг с потенциал-чувствительными

красителями неприменим в исследованиях живого человеческого мозга, методика Брайана Полларда открывает потрясающие перспективы.

Просто чтобы прояснить, к чему все это. Я предполагаю, что переходные конфигурации крупномасштабных нейронных ансамблей по всему объему мозга коррелируют с различными градациями сознания в каждый момент времени. Если эта теория окажется верной, наблюдения и манипуляции с ансамблями выведут нас на новый уровень исследования психических феноменов, от понимания которых на данный момент мы далеки.

Представьте, будто градации сознания – это круги на воде, появляющиеся вокруг брошенного в нее камня. Представьте, что вы бросаете камень в лужу, поверхность которой и без того играет мелкой рябью от ветра. Несмотря на эту рябь, от вашего камня расходятся четкие ровные круги: сам камень является постоянным или квазипостоянным – во всяком случае, определенным стабильным объектом. Он относительно невелик, но возмущение, которое он вызывает сейчас, непропорционально велико, в противоположность тому, что камень квазипостоянный, а возмущение кратковременно.

Размер ансамбля и, следовательно, состояние сознания в любой момент времени будет определяться целым рядом различных факторов. Например, ансамбли могут варьировать по размеру от одного момента к другому в зависимости от силы триггера, а также в соответствии с той легкостью, с которой синхронизируются нейроны, что, в свою очередь, зависит от доступности модулирующих химических веществ. Но наше сознание подчинено не одним лишь рефлекторным реакциям и первобытным чувствам. Поэтому не меньшее значение имеют другие факторы, которые в нужный момент определяют подходящую конфигурацию ансамбля.

Самое главное – это сам камень и сила, с которой он будет брошен, а именно сила психофизической стимуляции и нейроны, при одновременной активности образующие локализованные устойчивые соединения, которые мы можем рассматривать как своего рода «нейронный камень».

Опять же, сами по себе такие узлы прочных нейронных связей были бы слишком статичными и даже медленными, чтобы одним своим существованием породить динамичное сознание. Тем не менее именно такая локализованная и устойчивая связь будет соответствовать модели «камней» разной величины. Что тогда было бы феноменологическим эквивалентом большого или маленького камня, обширного или миниатюрного нейронного ансамбля? Анализируя день из своей жизни, мы

можем начать выяснять это. За окном уже совсем светло. Пора вставать.

## Прогулка с собакой

Когда вы открываете глаза и видите очертания спальни, ваша первая мысль, скорее всего, о том, что предстоит сделать, когда вы встанете с кровати. К настоящему времени вы как минимум полностью осознаете, кто вы, где вы находитесь и какой сегодня день. В вашем сознании складывается картина жизни, которая теперь укладывается в четко определенной и хорошо продуманной перспективе. Что позволило вашему мозгу перейти от простого, пассивного сознания, сконцентрированного на желании подольше нежиться под одеялом, к такому четкому, направленному внутрь фокусу?

Осмысление текущего момента уступает место бурному, гипотетическому миру грядущих событий и встреч и той роли, которую вы сыграете в них. Ваше сознание, несомненно, каким-то образом «углубилось» или «выросло» за последние несколько мгновений: здесь должен возникнуть некоторый дополнительный фактор, приводящий вас к этой гораздо более персонализированной «когнитивной» перспективе.

Вы поднимаетесь с кровати, натягиваете какую-то одежду и спотыкаетесь на лестнице. Бобо, ваш бордер-колли, встречает вас нетерпеливо и восторженно, энергично виляя хвостом. Сейчас нет времени на кофе, не говоря уже о завтраке: вы оба ощущаете необходимость отправиться на привычную утреннюю прогулку. Возможно, свежий воздух и шаги «на автопилоте» помогут вам еще глубже погрузиться в свои мысли. Говоря словами Фридриха Ницше, «все по-настоящему великие мысли приходят в голову во время прогулок».

Это предложение может показаться нелогичным, ведь мозг имеет ограниченные ресурсы. Впрочем, помимо очевидного снижения эффективности при одновременном выполнении сходных между собой действий, в тех случаях, когда действия полностью отличаются друг от друга, как, например, ходьба и мышление, может возникать даже эффект взаимного усиления.<sup>[97]</sup> Существуют исследования, наглядно демонстрирующие улучшение способности к концентрации и запоминанию в процессе ходьбы. Особенно, когда испытуемые сами выбирают темп.<sup>[98]</sup>

Более того, погружение в естественную среду может оказывать большое влияние на вашу внимательность. Исследователи из Энн-Арбор, штат Мичиган, рассмотрели два способа оценки внимания.<sup>[99]</sup> В первом случае участники эксперимента слышали случайные последовательности

чисел, содержащие от 3 до 9 знаков, а затем повторяли их в обратном порядке: здесь производительность зависит от способности к фокусированию внимания. Эта способность является одним из основных компонентов кратковременной памяти. В другом эксперименте при помощи компьютера оценивалась способность к выявлению опасности, ориентированию и исполнительное внимание, которое требует наибольшего контроля. Идея заключалась в том, чтобы сравнить результаты тестов до и после пятидесятиминутной прогулки в дендропарке Энн-Арбор, где отсутствуют раздражители, типичные для городской среды, а также пятидесятиминутного пребывания на оживленных улицах. Те же тесты были даны другой группе участников до и после десятиминутного просмотра фотографий с городскими и природными пейзажами. Удивительно, но результаты показали, что прогулка в дендрарии и даже просто просмотр фотографий природы оказали впечатляющее влияние на работу мозга<sup>[100]</sup> – результаты тестов этих двух групп испытуемых значительно улучшились. Чего, в свою очередь, нельзя сказать о тех, кто прогуливался по улицам города или просматривал фотографии этих улиц. Похоже, что ассоциации, которые вызывают фотографии, могут оказывать влияние на когнитивные способности, в частности на общий объем информации, которую мозг способен удерживать в любой конкретный момент.

Исследователи объясняют эти результаты контрастностью реактивного внимания с проактивным: городская среда полна разнообразных стимулов, которые привлекают наше внимание, хотим мы того или нет. Таким образом, этот тип среды заставляет наш мозг максимально задействовать возможности реактивного внимания, чтобы мы могли избежать, скажем, столкновения с автомобилем. С другой стороны, природная среда избавляет нас от необходимости постоянно быть начеку и вместо этого располагает к более добровольной, проактивной форме внимания. Когда вы решаете повнимательнее рассмотреть растение, устремить взгляд к линии горизонта, а затем, возможно, поднять голову и полюбоваться кроной дерева, эта внутренняя последовательность событий будет способствовать восстановлению самоконтроля, давая вам время, чтобы развивать и углублять мысли.

Несколько более экстремальная версия эксперимента включала оценку влияния четырехдневных туристических походов не только на способности к познанию, но и на творческое мышление.<sup>[101]</sup> По возвращении проводились тесты: испытуемые должны были ответить на тридцать-сорок

вопросов, каждый из которых состоял из трех повседневных слов, кажущихся не связанными между собой. Задача состояла в том, чтобы придумать четвертое слово, которое каким-то образом связано с каждым из первых трех. Например, в ряду слов «разбитый», «чистый» и «глаз», четвертым может быть, например, «стекло». По окончании четырехдневного похода творческие способности участников эксперимента повысились в среднем на 50 %. Однако трудно определить, какой из сложного комплекса факторов оказал наибольшее влияние – физическая активность или созерцание природы, а может, попросту улучшившееся качество сна, свежий воздух и общение.

Вы сейчас так же погружены в созерцание и, спотыкаясь, следуете за Бобо. В данный момент, по крайней мере, вам не нужно оперативно реагировать на стимулы, поступающие из внешнего мира, ваш мозг занят другой работой – он сортирует информацию, чтобы объединить элементы новым, возможно, «креативным» способом. Под открытым небом вы дышите глубоко, ваш взгляд устремляется внутрь – вы погружаетесь в размышления. Это опыт, доступный вам здесь и сейчас. Вы испытываете различные ощущения. Мы знаем, что смех и крик – это спонтанные, атавистические реакции. Таким образом, виляющая хвостом собака и смеющийся ребенок, соответственно, демонстрируют эволюционную (филогенетическую) и индивидуальную (онтогенетическую) экспрессию самого примитивного типа сознания, в котором преобладают сырые эмоции и реактивность. А теперь задумайтесь о множестве различных форм мышления – о памяти, фантазии, логике, планировании: все они имеют одну общую черту – они тесно связаны с базовыми чувствами. Безусловно, помимо этого, важной чертой любой формы мышления выступают временные рамки: мысль имеет начало, середину и конец, вы «перемещаетесь» из исходной точки в некую новую. И как вы добрались до этого места, этого нового вывода или решения? Вас привела цепочка шагов, формирующая линейный путь: всем знакомо выражение «ход мыслей».

Продолжая эту линию (забавный каламбур), нужно отметить, что выдающийся невролог Олег Горникевич, разработавший методику лечения расстройства движения при болезни Паркинсона, определил мышление как «движение, ограниченное мозгом». Таким образом, мысль, в отличие от эмоции, представляет собой серию шагов, своего рода движение: чем длиннее путь, тем глубже мысль. Более того, на практике физический акт ходьбы может усиливать этот внутренний процесс, отражая во внешнем движении то, что происходит в мозге. Обладая четкой причинно-следственной связью, повторяющееся сокращение мышц помогает не

сбиться с мысли.

И прогулка с собакой способна произвести еще больший эффект. Как писал журналист Эд Стауртон, «прогулка с собакой становится похожей на чтение романа или наблюдение за игрой: сомнения прочь, и на час или около того нам предоставляется лицензия на бегство от обыденности. Фантазия расцветает и даже довольно тривиальные моменты в жизни собаки становятся источником удивления, веселья и даже беспокойства».

[\[102\]](#)

Любой хозяин, вероятно, стал бы настаивать на том, что его собака – совершенно сознательное существо. Иначе почему человек отдает собаке столько личного времени и любви, порой тратит на нее баснословные деньги? Эд Стауртон говорил следующее: «Даже зная, что собака – это просто собака, мы по-прежнему позволяем себе говорить и думать о наших собаках как о друзьях, по праву достойных нашей привязанности». Но как именно устроено собачье сознание и в чем его решающее отличие от человеческого?

## Нечеловеческое сознание

Помните, мы затрагивали вопрос наличия сознания у плода, рассуждали, есть ли некий рубеж или же сознание формируется постепенно? Теперь речь пойдет о сознании животных. Решение этих двух загадок может дать нам несоизмеримо больше, чем просто утоление любопытства. Итак, давайте порассуждаем: если сознание может расти по мере того, как растет сам индивид (онтогенетически), может ли подобный процесс быть выведен на эволюционный (филогенетический) уровень? Иными словами, развивается ли сознание параллельно с эволюцией?

Мозг человека отличается от мозга крысы, белки, кролика, верблюда, кошки, обезьяны и любого другого животного так же, как каждый соответствующий вид в целом отличается от другого. В животном мире для каждого вида характерны определенные анатомические особенности мозга: некоторые области могут быть развиты больше других, могут значительно отличаться по форме, и, что очевидно, общий размер мозга животных существенно варьируется. Но основной структурный план одинаков, и нет четкой анатомической линии, нет Рубикона, который можно было бы пересечь и с уверенностью сказать: «Этот вид обладает сознанием. А этот вид – просто неодушевленная биомашина».

Рассмотрим следующий пример, отмеченный Тоби Коллинзом, морским биологом, который был очарован нейронаукой и, в конечном итоге, стал работать в моей лаборатории. Из-за специфических взглядов, сформированных его предыдущим профессиональным опытом, Тоби поднял некоторые интересные вопросы, касающиеся осьминогов. Во многих странах мира на законодательном уровне регулируется порядок проведения экспериментов с живыми животными – чаще всего речь идет о позвоночных, – эти правила необходимы, чтобы обеспечить наиболее гуманное обращение. Интересно, что в некоторых странах, в частности в Великобритании, в перечень таких видов включено беспозвоночное животное – осьминог обыкновенный (*octopus vulgaris*): вы не можете выполнять инвазивные процедуры без анестезии, и поэтому логично предположить, что осьминог чувствует боль.

А вот осьминог кудрявый (*eleuthero cirrhosa*), близкий родственник осьминога обыкновенного, никаким законодательством не защищен. Но на чем основывается такая избирательность? Между этими двумя видами осьминогов нет существенного анатомического различия, но, как ни

парадоксально, одного закон защищает, а другого – нет. Очевидно, мы не можем определить четкие границы, позволяющие с уверенностью сказать, что одно животное способно к формированию внутреннего субъективного опыта, а другое – всего лишь штуковина с щупальцами.

А помните чемпионат мира по футболу 2010 года, благодаря которому прославился осьминог Пауль, по-видимому, настолько «сознательный», что мог предсказывать результаты предстоящих матчей? Тем не менее головоногие вроде Пауля в действительности никогда не были достаточно достоверно изучены в отношении их «интеллекта». Однако в экспериментах с памятью их используют с тех пор, как талантливый морской биолог Джон Закари Янг, работавший в Неаполе в 1920-е годы, обратил на них всеобщее внимание. Янг первым показал, что осьминоги действительно обладают впечатляющими когнитивными способностями: к примеру, они могут различать объекты на основании их размера, формы и цвета.<sup>[103]</sup> Кроме того, осьминоги классифицируют объекты различной формы таким же образом, как это делают позвоночные, например крысы.<sup>[104]</sup>

Совсем недавно осьминоги продемонстрировали свои навыки запоминания и способности к решению различных задач в ряде экспериментов: например, к нахождению пути к угощению через лабиринт из плексигласа и к извлечению предмета из прозрачной емкости с завинчивающейся крышкой. Головоногие демонстрируют впечатляющий поведенческий репертуар адаптаций, в то время как невероятные сообщения о явной обучаемости этих животных указывают на высокое развитие внимания и памяти. В экспериментах, где осьминог сталкивается с лабиринтом, содержащим препятствия, ученые зашли так далеко, что предложили осьминогу «рассмотреть» макет лабиринта перед его прохождением.<sup>[105]</sup> Эти явно интеллектуально развитые головоногие могут даже решать задачи посредством наблюдательного обучения, что подразумевает реальные навыки запоминания.<sup>[106]</sup>

Удивительные умственные способности этих беспозвоночных свидетельствует о том, что осьминоги в частности и головоногие в целом могут обладать сознанием наравне со многими позвоночными. Однако если это так, мы сталкиваемся с действительно интересной загадкой. Мозг осьминога не похож на мозг млекопитающих. Такие элементы, как кора и таламокортикальная петля, которые считаются столь важными для формирования сознания, у осьминога в какой-либо сопоставимой форме просто не существуют.

Мозг взрослого осьминога состоит из 1 70 миллионов клеток,

большинство из которых является нейронами.<sup>[107]</sup> Хотя это и может показаться впечатляющим, человеческий мозг может похвастаться по крайней мере 86 миллиардами.<sup>[108]</sup> Тем не менее головоногие имеют хитроумно устроенные чувствительные рецепторы, сопоставимые по сложности с таковыми у некоторых позвоночных, например у птиц. Но хотя в мозге головоногого нет таламокортикальных петель, у него есть базовый аппарат нейронов и синапсов, а также нейротрансмиттеры, такие как дофамин, норадреналин и серотонин.<sup>[109]</sup> Таким образом, пусть это еще не доказано экспериментально, мозг осьминога имеет все необходимое для создания нейронных ансамблей. Мы уже знаем, что должны мыслить широко и что области мозга, во всяком случае «ключевые», сами по себе никогда не смогут дать реального объяснения феномену сознания. Для нас это возможность доказать, что нейронные ансамбли оказываются более перспективной отправной точкой в поиске нейрональных коррелятов сознания: в конце концов, эти мезомасштабные процессы анатомически и физиологически менее специфичны. Кроме того, ансамбли гибки, непрерывно расширяются и уменьшаются (и, следовательно, имеют огромный потенциал для формирования различных градаций сознания) от момента к моменту, от одного этапа развития к следующему – и от одного вида к другому.

Вполне возможно, что «примитивные» животные, такие как осьминог, действительно обладают сознанием, но не настолько сознательны, как, например, крыса. И крыса обладает сознанием, но не настолько сознательна, как собака или кошка. И собаки и кошки сознательны, но не как приматы, – так же и плод может обладать сознанием, но не таким, как ребенок. И ребенок может быть сознательным, но не таким сознательным, как взрослый. Но где кроются важные эволюционные различия, определяющие глубину сознания? Возможно, как в случае с осьминогом, ключом является размер нейронных ансамблей. Давайте рассмотрим различные параметры, которые будут определять окончательную оценку глубины сознания – интенсивность ряби от брошенного в воду камня. Эта красивая метафора принесет нам практическую пользу – мы используем ее, чтобы сформировать представление о различных факторах, влияющих на конечный результат. Каждая новая рябь не похожа на предыдущую, потому что камни могут быть разными по размеру, может отличаться сила, с которой их бросают, – и эта аналогия идеальна, когда речь идет об изучении мозга. Теперь, когда мы определили, что будем искать, давайте, наконец, возьмемся за скальпель и исследуем, что есть «камень» и какой

процесс является эквивалентом «броска».

## Формирование ряби: размер камня и сила броска

Кем бы вы ни были, молодым или старым, человеком или другим животным, если вы не из камня, будильники всегда будут вас будить. Но почему? Почему необычно громкий звук всегда будет возвращать вас в сознание?

Будильник можно принять как эквивалент броска камня. Даже небольшой камень, если метнуть его с достаточной силой, может спровоцировать обширную рябь: звук будильника будет достаточно громким (эквивалент сильного замаха при броске), чтобы активировать через сенсорные пути слуховой центр мозга (эквивалент камня). Звук настолько силен, что будет охвачена еще более обширная зона, то есть ансамбль (рябь) будет увеличиваться в размерах. Любое животное с функционирующей слуховой системой, любого возраста и умственного развития, будет вырвано из сна в некое сознательное состояние. Возникающая при этом форма сознания – это еще одна проблема, но пока мы не будем ее касаться, пока важным для нас является сила броска и размер камня в качестве определяющих факторов конечной интенсивности ряби.

В то время как сила броска – громкость будильника – определяется внешними объективными факторами, размер камня будет зависеть от индивидуальных свойств мозга. Внутри любого вида (но особенно это заметно у наиболее высокоорганизованных животных, таких как мы) конфигурация и характер сопряжения групп нейронов могут иметь решающее значение для определения следующего важного переменного фактора: нейронального эквивалента размера камня. По мере развития нашего мозга нейронные связи формируются согласно нашим впечатлениям о внешнем мире. Этот феномен, благодаря которому опыт почти буквально оставляет свой след в мозге, как мы узнали ранее, называется пластичностью.

В мозге всех видов мы найдем нейроны, которые активируются входящими сигналами различной интенсивности (это броски разной силы), но количество нейронов в группе (это размер камня) будет определяться в соответствии с конкретной конфигурацией и силой связи между нейронами. Это означает, что один и тот же звук или зрительный стимул одной и той же интенсивности будут вызывать разные эффекты в мозге разных животных, так как отличается размер камня. В свою очередь,

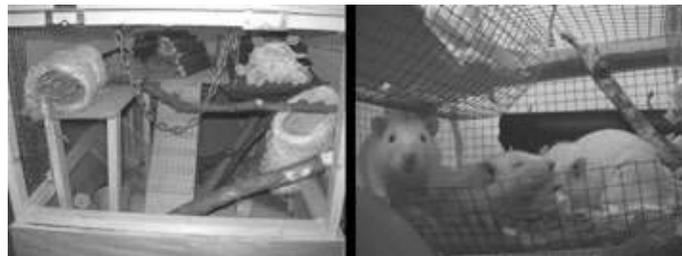
конфигурация и сила нейронных связей будут за висеть от дополнительного, но крайне важного фактора – предшествующего взаимодействия со средой. Чем выше уровень организации вида, тем более выражена способность к формированию опыта, что делает восприятие одних и тех же стимулов в значительной степени индивидуальным. Итак, давайте еще раз представим, что камень брошен в воду, но теперь мы просто подбрасываем его, а не замахиваемся со всей силой – как в безжалостном примере с будильником. Обширная рябь может быть сгенерирована просто потому, что камень велик. Переводя на язык нейронауки, возбуждение постепенно распространяется через стабильные, прочные связи, обусловленные, в свою очередь, индивидуальным опытом и механизмами пластичности.

Эта закономерность также может иметь место, хотя и в меньшей степени, у других животных. Возьмем взрослых крыс. Популярным способом изучения этого эффекта в лаборатории является создание так называемой обогащенной среды. «Обогащение» для крысы не означает, что она будет есть экзотическую пищу или жить в золотой клетке. Термин «обогащение» относится к среде, которая максимально стимулирует мозг, поэтому если вы хотите дать максимальную стимуляцию для крысы, то вы должны убедиться, что она имеет возможности для взаимодействия с различными новыми объектами и явлениями (рис. 3).

Вопреки неприглядному образу, сложившемуся в нашей культуре, крысы на самом деле очень любопытные и умные существа, способные быстро адаптироваться к любой среде, где бы они ни находились. Соответственно, мозг будет отражать их образ жизни. Первая эмпирическая демонстрация такой зависимой от опыта пластичности в обогащенной среде была проведена в 1940-е годы. Дональд Хебб, с которым мы познакомились ранее, забрал нескольких крыс из лаборатории и позволил им опробовать новую интерактивную среду, очень отличающуюся от обычных клеток. Через несколько недель, поведенных в доме Хебба, эти «свободные» крысы проявляли превосходную способность к решению различных задач по сравнению с их менее удачливыми собратьями, которые оставались в обычных клетках.

Однако физические изменения в нейронных сетях в результате стимуляции были достоверно и непосредственно продемонстрированы только несколько десятилетий спустя.<sup>[110]</sup> Ученые намеревались выявить механизмы, лежащие в основе индивидуальных различий в поведении и решении задач на примере нескольких пород крыс, и в скором времени пришли к выводу об огромном влиянии опыта.

Нетрудно догадаться, что воздействие обогащения среды оказалось в центре внимания со стороны нейробиологов и психологов. Стало ясно, что оно оказывает влияние на широкий круг видов и на особей всех возрастов. В последние десятилетия исследования «обогащенных» животных показали явные анатомические изменения, и все из них можно отнести к положительным: [\[111\]](#) как молодые, так и пожилые особи показывают высокие результаты в тестах пространственной памяти. Более того, даже короткий период пребывания в обогащенной среде сводит на нет дефицит памяти у взрослых генетически модифицированных мышей, выступающих в качестве модели при изучении болезни Альцгеймера. [\[112\]](#) Кроме того, такая стимуляция индуцирует нейрогенез (формирование новых клеток головного мозга) и улучшает память. [\[113\]](#)



**Рис. 3.** Типичная «обогащенная» среда для крыс (Devonshire, Dommett&Greenfield, неопубликованное)

Обогащение среды также может помочь замедлить или смягчить повреждение головного мозга в целом. Болезнь Хантингтона – наследственное расстройство, которое характеризуется прогрессирующей нейродегенерацией, и эффективного лечения этого заболевания на сегодняшний день не существует. Но не так давно были исследованы трансгенные мыши, которые демонстрируют нейродегенеративный синдром, характеризующийся прогрессирующими двигательными нарушениями, аналогичными тем, которые возникают у людей с болезнью Хантингтона. Однако пребывание этих мышей в обогащенной среде с раннего возраста помогает свести к минимуму разрушение мозговой ткани и задерживает начало двигательных расстройств, [\[114\]](#) а также компенсирует повреждение головного мозга. [\[115\]](#)

Решающим фактором здесь выступает продолжительность опыта. Было исследовано, как различные периоды пребывания в обогащенной среде влияют на поведение мышей, в частности на их подвижность. Сравнивались результаты после одной, четырех и восьми недель

пребывания. Одна неделя не дала никакого видимого эффекта, но за четыре недели возникли поведенческие изменения, которые сохранялись на протяжении двух месяцев, а после восьми недель пребывания в обогащенной среде эффект сохранялся в течение шести месяцев.<sup>[116]</sup>

Все эти исследования иллюстрируют значимость такого фактора, как взаимодействие животного, вне зависимости от вида и уровня организации, с определенной стимулирующей средой. Провоцируемые такой стимуляцией изменения были обнаружены у мышей, песчанок, белок, кошек, обезьян и даже у птиц, рыб, плодовых мух и пауков – словом, у каждого вида, который попадался под руку ученым.<sup>[117]</sup> И фокус любопытнее всего направить на то, как конкретный мозг реагирует на подобные сценарии.

Всеохватывающая стимуляция заставляет клетки мозга работать более интенсивно, и они растут аналогично тому, как мышцы растут от тренировок. Однако клетки мозга реагируют на тренировки все же не в точности так, как мышцы. Подвергающиеся стимуляции нейроны формируют множество ветвей, известных как дендриты.<sup>[118]</sup> У приматов, как и у мышей, окружающая среда вызывает интенсивные структурные и химические изменения, включая усиленный рост дендритов.<sup>[119]</sup> А почему это так интересно и важно для нас? Потому что, благодаря ветвлению дендритного дерева, нейрон увеличивает площадь поверхности, а это означает, что он сможет формировать больше связей.

Совершенно очевидно, что подобные исследования неприменимы к нашему биологическому виду. Согласитесь, трудно представить себе такую же контролируемую среду для людей. Тем не менее, по мере того как эволюция совершенствует мозг, делая его все более изощренным, значение индивидуального опыта обретает все большее значение для формирования нейронных конфигураций в мозге, в конечном итоге дающих нам, людям, способность к уникальному восприятию мира.<sup>[120]</sup> Мы знаем, что когда человеческий мозг растет в первые годы жизни, этот рост связан не с увеличением числа нейронов, а с их ветвлением.

В коре головного мозга человека количество синапсов (контактов между нейронами) быстро растет в период внутриутробного развития и продолжает расти в течение короткого периода после рождения. После этого количество синапсов медленно уменьшается за очень длительный период времени, начиная примерно с шести месяцев и до подросткового возраста и достигая стабильного уровня в зрелости.<sup>[121]</sup> При сканировании мозга людей в возрасте от четырех до двадцати лет<sup>[122]</sup> было замечено, что

кора увеличилась в объеме до десяти-одиннадцати лет у мальчиков и восьми-девяти лет у девочек, затем постепенно уменьшалась в результате синаптического «сокращения». В связи с этим мозг затем становится не таким безоговорочно открытым для новой информации, но более приспособленным для удовлетворения фактических потребностей человека.<sup>[123]</sup>

Существует два основных типа исследований с участием людей, раскрывающих поразительные способности мозга к пластичности. Первый тип – это изучение «снимков», подобно тому, что мы видели ранее на примере лондонских таксистов,<sup>[124]</sup> где профессионалы и эксперты, занятые в течение длительного периода в определенном типе деятельности, показывают заметные различия по сравнению с людьми, не сталкивающимися с выбранным типом деятельности так часто. Возьмем теперь математиков: долгое время, которое они проводят за вычислениями и работой с формулами, вызывает увеличение плотности клеток в области коры (теменной доли), которая участвует в вычислительных операциях и визуальной обработке. Так же и у музыкантов мозговые структуры могут заметно различаться по сравнению с немусыкантами. Сканы мозга профессиональных клавишников, любителей и немусыкантов выявили увеличение объема серого вещества в моторных, слуховых и зрительных центрах мозга. Более того, существует выраженная взаимосвязь между развитием соответствующих центров и интенсивностью практических занятий, из чего вытекает предположение, что эти анатомические изменения связаны с процессом самообучения, а не с врожденной предрасположенностью к музыке.<sup>[125]</sup>

Интенсивные занятия фортепиано, в частности, оказывают определенные эффекты в отдельных областях мозга и влияют на развитие нейронных связей (белое вещество) у людей всех возрастов – детей, подростков и взрослых. Как и следовало ожидать, имеющий наибольший потенциал к развитию детский мозг демонстрирует наивысший уровень пластичности. Совершенно очевидно, что определенные временные окна («критические периоды») играют роль в региональной пластичности некоторых областей центральной нервной системы.<sup>[126]</sup>

Учитывая широкое разнообразие навыков, таких как вождение такси, игра на музыкальных инструментах и математические изыскания, не кажется удивительным, что и другие, совершенно разнообразные виды деятельности также могут оставить свой след в мозге. Возьмем игру в гольф: в одном обзоре сканов мозга опытных и менее квалифицированных

игроков в гольф, а также людей, никогда в него не игравших, значительные изменения в структуре серого вещества были обнаружены только у опытных игроков.<sup>[127]</sup> У баскетболистов тоже обнаруживаются признаки пластичности, коррелирующей с опытом, но на этот раз в области, известной как «автопилот» головного мозга – мозжечке, который отвечает за координацию сенсорно-моторных взаимодействий. И наиболее заметные изменения были выявлены лишь у профессиональных баскетболистов.<sup>[128]</sup>

А есть и другой подход к исследованию пластичности. Вместо того чтобы сравнивать сканы мозга экспертов и простых смертных, можно заняться протяженным во времени изучением одного и того же мозга. Такой эксперимент осуществляется с несколькими повторами в течение длительного периода времени, чтобы можно было наблюдать динамику. На сей раз участниками стали обычные люди без особых навыков в рассматриваемой области, но в ходе эксперимента они получали определенные знания и опыт. Так, оказалось, что изучение языка стимулирует пластичность, повышает плотность серого вещества мозга. Наблюдаемые изменения соответствуют уровню языковых навыков. Это еще раз доказывает, что любой процесс обучения отражается на структуре мозга.<sup>[129]</sup>

Но не только практическое обучение и физическая активность могут оказывать влияние на нейронные связи. Одно из самых интригующих исследований заключалось в том, что в течение всего пяти дней испытуемые по два часа разучивали простые упражнения для одной руки на пианино. Однако сканирование мозга показало, что области коры, ответственные за соответствующие мышцы рук, стали развиваться, а порог их активации снизился.<sup>[130]</sup> Эти результаты аналогичны результатам исследования, о котором говорилось ранее, но они позволяют нам продвинуться еще дальше. Самое удивительное, что такие изменения в мозге наблюдались даже при «воображаемой» практике, когда другой группе испытуемых было предложено лишь представить, что они играют на пианино, фактически не делая этого. Этот эксперимент свидетельствует о том, что не имеет смысла противопоставлять ментальное физическому. Подобная классическая дихотомия больше не работает и не поможет нам найти ответы на вопросы, касающиеся разума и сознания.

Другая важная находка этого исследования заключается в следующем: для мозга важно то, что имеет значение для пластичности, а не фактическое сокращение мышцы, ведь именно мысль предшествует действию. Высказывание, что мышление – это движение, ограниченное мозгом,

оказывается поразительно точным.

Мы можем извлечь много полезного из всех этих исследований пластичности, но, пожалуй, наиболее значимый вывод заключается в том, что и умственная и физическая активность оставляют свой след в мозге и что пластичность не является исключительной привилегией какого-то одного набора нейронов, но кажется неким общим свойством, присущим мозгу в целом. В большей или меньшей степени любой мозг, даже мозг морского слизня,<sup>[131]</sup> способен к адаптации на основе опыта, но наш биологический вид в этом вопросе превосходит любой другой. Тесная взаимозависимость природных задатков и культуры накладывает на человеческий мозг уникальный отпечаток,<sup>[132]</sup> обуславливая огромный потенциал к возникновению совершенно различных способностей.

По мере развития растет наша склонность к тому или иному познавательному опыту, выходящая за пределы номинальных обыденных потребностей. И тогда мы освобождаемся от «сырого» чувственного восприятия, чтобы развить более значимое индивидуальное восприятие мира. Но как это происходит?

## Развитие разума

По словам Уильяма Джеймса, которого принято считать отцом американской психологии, вы родились с ощущением «пестрой, гудящей путаницы» вокруг. Но постепенно, по мере того как недели превращаются в месяцы, прежние абстрактные цвета, формы, текстуры и запахи сливаются во что-то, что оказывается, скажем, лицом вашей матери. Поскольку мама снова и снова фигурирует в вашей жизни, она становится значимой для вас, и ваш мозг формирует все больше ассоциаций. Мозг создает уникальные конфигурации нейронных связей, и образ матери становится совершенно уникальным. Именно эти персонализированные связи позволяют абстрагироваться от напора первичных ощущений, и вы получаете возможность воспринимать явления буквально за пределами их номинального значения. Теперь входящие стимулы – человек, объект, событие – будут «что-то» означать. Вы будете оценивать их с точки зрения существующей нейронной связи, и в то же время сам опыт такого взаимодействия еще раз обновит статус этих нейронных соединений.

Обручальное кольцо, возможно, первоначально могло бы представлять интерес для маленького ребенка просто из-за сенсорных свойств – блеска, гладкости, округлости, звонкости. Но по мере того как устанавливаются ассоциации, связанные с кольцом, этот предмет будет обретать иной смысл – сначала как объект, обладающий определенным набором характеристик, относящихся к некоей категории предметов, и лишь потом будет осознано его символическое значение. В конце концов, если вы приобретете собственное обручальное кольцо, этот конкретный объект будет иметь для вас значение, выходящее за пределы его финансовой ценности, такое, которым не обладает никакое другое, даже очень похожее кольцо, и все это благодаря персонализированному опыту, обусловленному уникальными, неповторимыми нейронными соединениями в вашем мозге. Эти связи не имеют ничего общего с реальными свойствами физического объекта, но для вас они придают этому конкретному кольцу глубокое, «особое» значение.

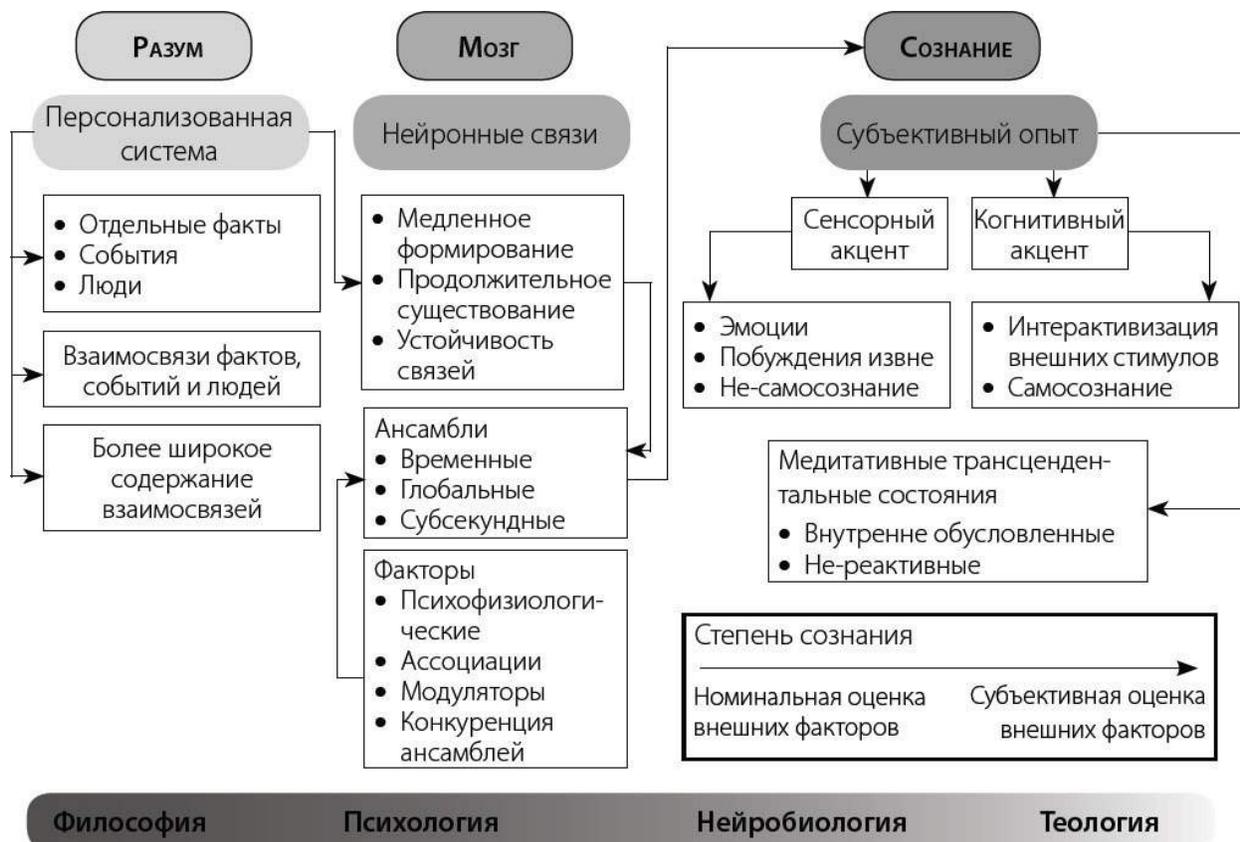
«Нейрон Холли Бэрри», с которым мы столкнулись ранее, может быть активирован не визуальными, чисто когнитивными ассоциациями с актрисой. Ваш мозг уникален, потому что уникальны нейронные соединения, отражающие ваш индивидуальный опыт. Таким образом, то, что вы испытали, определяет то, как вы будете видеть мир в дальнейшем.

Происходит постоянное взаимодействие между тем, как вы оцениваете окружающую среду с точки зрения существующих сетей, в то время как текущий опыт будет непрерывно совершенствовать нейронные связи.

Фактический нейронный механизм, лежащий в основе этих связей, – феномен, известный как «долгосрочная потенция» (LTP) и «долгосрочная депрессия» (LTD).<sup>[133]</sup> Однако каскад биохимических реакций, лежащих в основе этих процессов, слишком медленный, и эффект слишком длительный и локальный, чтобы обуславливать момент сознания.

Однако «разум» не является синонимом сознания, как мы определили в главе 1, – эти два явления могут быть отделены друг от друга, могут существовать одно без другого. Но чаще всего для повседневного субъективного опыта взрослого человека разум, хоть он и не приравнивается к сознанию, будет играть важную роль: размер камня станет важным фактором в определении площади распространения ряби – моментального проявления сознания.

Подводя итог: сочетание силы броска, а именно степени активации (в терминах феноменологии – первичной сенсорной стимуляции), и размера камня, то есть силы нейронных связей (в терминах феноменологии – индивидуальной значимости), определяет конечный эффект броска камня, то есть интенсивность ряби (размер нейронного ансамбля), задавая глубину сознания в конкретный момент. Эта схема показана на рисунке 4, где проиллюстрирована связь отдельных компонентов физического мозга, разума и сознания с нейронными ансамблями в качестве ключевого процесса.



**Рис. 4.** «Разум», «мозг» и «сознание». «Разум» – персонализация мозга через адаптивную пластичность локальных длительных связей между клетками мозга (см. «Мозг»), которые могут быть выражены в терминах феноменологии, связанных с фактами, событиями и людьми. Однако в мозге соответствующие «жестко соединенные» зоны в активированном состоянии могут запускать гораздо более обширный ансамбль, параметры которого будут коррелировать с сознанием разной глубины (см. «Сознание»). В свою очередь, глубина сознания будет связана с соответствующими вкладками внешних сенсорных и усвоенных когнитивных стимулов. Самое базовое сознание, присущее младенцам и животным, будет сенсорным, а самые сложные его формы – исключительно внутренне управляемые когнитивные состояния – будут проявляться в специфическом человеческом поведении, например при медитации

## От разума к сознанию

Теперь мы сталкиваемся с фундаментальным вопросом: каким образом этот метафорический камень, который только что был брошен, выборочно затрагивает обычно неактивные области, чтобы генерировать гораздо более обширный, пусть и временный, ансамбль? Причина чрезвычайной сложности этого вопроса заключается в том, что теперь нам необходимо отступить в сторону от знакомых нам механизмов пластичности и увидеть, как должна распространяться наша метафорическая рябь, чтобы коррелировать с разной глубиной сознания.

Ответ заключается в эффектах мощных модулирующих химических веществ, воздействующих на определенные клетки мозга в соответствии с различными уровнями возбуждения. Они модулируют реакцию окружающих клеток на возбуждающий сигнал, определяя их участие в ответной реакции (создавая рябь). В свою очередь, то, с какой легкостью те или иные клетки временно «завербовываются» для совместной работы, будет зависеть от типа воздействующих в данный момент химических веществ и преобладающего уровня возбуждения: это еще один фактор в формировании нейронных ансамблей. Переменная доступность этих модуляторов будет аналогична варьированию глубины и чистоты лужи, которая, будучи грязной и заросшей водорослями, окажется менее эффективной средой для распространения ряби, чем если бы это была свежая дождевая вода.

Таким образом, глубина сознания в любой момент будет продуктом: 1) внешней сенсорной активации (силы броска); 2) индивидуальной значимости (размера камня), что, в свою очередь, выражается в длительности прочной связи между нейронами, а также 3) общих уровней возбуждения, обусловленных воздействием модуляторов. Если это действительно так, то, изменяя значения этих параметров, можно наблюдать за изменениями в сознании.

Возьмем сценарий, в котором камень окажется относительно небольшим по размеру. Как и в случае с будильником, внешней сенсорной стимуляции должно быть достаточно, чтобы активировать ансамбль, хотя и относительно небольшой. Представьте себе, например, что вы танцуете в клубе на Ибице, вас обволакивает навязчивый ритм музыки и фантазмагорические вспышки света. Ваш тщательно отобранный индивидуальный опыт оказывается ни актуальным, ни необходимым. Вы

как бы «растворяетесь» в музыке и свете. Другой способ отключить свои нейронные связи – прибегнуть к психоактивным веществам, которые снижают эффективность синаптической передачи.

Для многих быстрый путь к удовольствию – это алкоголь, при употреблении которого так же уменьшаются размеры нейронных ансамблей. Алкоголь жирорастворим, а это означает, что он легко преодолевает гематоэнцефалический барьер, отделяющий мозг от общей циркуляции жидкостей, и быстро проникает в мозг, что влияет на выработку гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК).<sup>[134]</sup> ГАМК будет инициировать приток в нейроны отрицательно заряженных ионов хлора, делая внутреннюю поверхность клеточных мембран соответственно более отрицательно заряженной (гиперполяризованной): это означает, что снижается способность клеток генерировать потенциалы действия.<sup>[135]</sup>

Третий вариант – это такой «сенсационный» опыт, когда внешние стимулы наводняют ваш мозг. Для этого подойдет серфинг, прыжок с парашютом, спуск на горных лыжах и т. п. Стимуляция может быть чрезвычайно яркой, неестественно шумной, события будут быстро сменять друг друга, что спровоцирует залп конкурирующих ансамблей, которые окажутся недостаточно обширными и стабильными, чтобы их можно было успешно обработать.

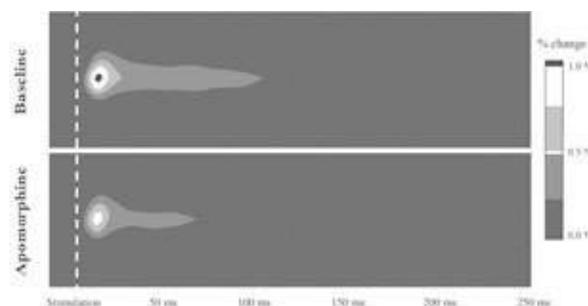
Многие занятия, связанные со скоростью, ритмом и т. п., кажутся нам приятными. Возможно, мы могли бы развить эту мысль, взглянув на химический ландшафт мозга и начав с известного передатчика – дофамина. Дофамин прежде фигурировал только как часть общего химического каскада реакций в мозге, где он тесно связан с другими передатчиками (норадреналином и серотонином), но теперь стоит уделить ему больше внимания.

Высвобождение дофамина в мозге принято связывать с ощущением удовольствия, с тех пор как проведенные в 1950-е годы эксперименты показали, что крысы, в чей мозг были имплантированы электроды в тех участках, где дофамин выделяется в больших объемах, стремились к получению электрической стимуляции. Кроме того, все рекреационные наркотики имеют общий принцип действия: они вызывают высвобождение дофамина. Повышение уровня дофамина связано с повышенным возбуждением: достаточно вспомнить интенсивный стимулирующий эффект амфетамина.

Итак, если дофамин связан с ощущением удовольствия и если малый размер нейронных ансамблей так же является характерной чертой

приятного опыта, то можно предположить, что дофамин уменьшает размер ансамблей. Собственно, именно это и показали некоторые наши эксперименты. Апоморфин, препарат, который действует как аналог дофамина, оказывает явное влияние (рис. 5) как на размер, так и на длительность активности в коре головного мозга крысы.

Но высокий уровень дофамина не всегда является предвестником удовольствия: он также может играть роль в переживании страха. Возьмите шизофрению – сложное психическое расстройство, для которого характерен повышенный уровень дофамина. Никто не утверждает, что шизофрения – это весело. Но согласитесь, дикая и странноватая радость может сопутствовать страху: игра в «ку-ку» может напугать малыша, а сильный испуг даже у взрослого способен вызвать приступ смеха. Но как могут такие полярные противоположности так легко перетекать друг в друга?<sup>[136]</sup>



**Рис. 5.** Нейронный ансамбль, сгенерированный в срезе участка коры мозга крысы, и его изменения во времени. Обратите внимание на снижение интенсивности, а также на значительно более короткую продолжительность активности после применения апоморфина (*внизу*) (Badin&Greenfield, неопубликованное)<sup>[137]</sup>

Возможно, удовольствие превращается в страх, когда мы не знаем, что будет дальше. Этот переход от удовольствия к страху может фактически сводиться к колебаниям уровней дофамина, приводящим к противоположным эффектам, определяющим участие тех или иных нейронов в потенциальном ансамбле.<sup>[138]</sup>

Однако удовольствие и его корреляция с размерами ансамблей едва ли могут зависеть исключительно от уровня одного лишь дофамина. Мы видели ранее, что анестезирующие средства также уменьшают размеры ансамблей, и их действие – это поэтапный процесс, один из которых – бред, наступающий, когда анестезия отчасти вступает в силу и размеры ансамблей уже уменьшаются. Анестетики в дозах, слишком низких для

достижения полной потери сознания, традиционно использовались для получения удовольствия. Раньше такой анестетик, как диэтиловый эфир, массово применяли те, кто никоим образом не стремился к потере сознания. Аналогичным образом, закись азота использовалась в качестве рекреационного наркотика на вечеринках девятнадцатого века. Некоторые участники становились мечтательными и умиротворенными, в то время как у других возникали приступы смеха и эйфория. Теперь закись азота снова возвращается в Великобританию в качестве рекреационного наркотика, не включенного в перечень запрещенных веществ. Как правило, этот газ вдыхают порционно из черных воздушных шаров. По понятным причинам это вызывает беспокойство властей.<sup>[139]</sup>

Наверное, вы не раз слышали об эндорфинах. Эти природные опиаты оказывают эффект ингибирования активности нейронов и, следовательно, так же уменьшают размер нейронных ансамблей.<sup>[140]</sup> Оказывается, что даже быстрая ходьба может стимулировать нейрогенез,<sup>[141]</sup> в результате чего стволовые клетки – универсальные заготовки, способные превращаться в разнообразные типы клеток, начинают трансформироваться в нейроны и стимулировать выделение химических веществ, способствующих росту клеток. И это еще не все. В то время как энергичная физическая активность увеличивает производство клеток мозга, дополнительная стимуляция обогащенной среды повышает стабильность нейронных связей.<sup>[142]</sup>

Как мы видели, окружающая среда способна влиять на мышление. Представим теперь, что может происходить обратное, и процесс мышления окажет влияние на сам физический мозг. Вспомните, как воображаемая игра на фортепиано отразилась на результатах сканирования мозга. Подобные результаты можно увидеть в эксперименте Фреда Гейджа, профессора лаборатории генетики калифорнийского Института Солка. Но помимо прочего Гейдж доказал, что для достижения этого эффекта упражнения должны быть добровольными.<sup>[143]</sup> Крысы должны активно интересоваться игрой.<sup>[144]</sup>

Интересно, что только когда крысы занимаются добровольной физической активностью, вступают в силу важные физиологические факторы: главный из них – отсутствие стресса,<sup>[145]</sup> что обеспечивает низкий уровень связанных с ним гормонов, в частности кортизола.<sup>[146]</sup> Исследования доказывают, что регулярное добровольное упражнение предотвращает связанные со стрессом заболевания и улучшает познавательную функцию у мышей.<sup>[147]</sup> Хотя мы все еще не можем

отследить, как именно отсутствие одного набора химических веществ приводит к состоянию, благоприятному для нейрогенеза. Тем не менее еще одна, действительно увлекательная подсказка заключается в том, что процесс сопровождается определенным паттерном волн – тета-ритмом, [\[148\]](#) который также возникает у человека в моменты концентрации внимания. [\[149\]](#)

Но мы слишком углубились в тонкие материи. Давайте посмотрим на проблему немного под другим углом. На этот раз мы не будем думать о сознании как о механизме адаптации, а сосредоточимся на самих нейронных ансамблях. Охватывая множество связей и настраивая их для согласованной работы, они приводят к широкомасштабной активации, что является одной из их определяющих особенностей. Это, в свою очередь, позволяет значительно повысить адаптивные возможности мозга, а не только лишь сгенерировать небольшой локальный ответ, который возник бы и при отсутствии крупных ансамблей. И будь это так, это означало бы следующее: если нейронные ансамбли действительно коррелируют с сознанием, то, обладая сознанием, мозг становится гораздо более адаптированным к окружающей среде. И это будет означать, что животные, обладающие наиболее глубоким сознанием, имеют наибольшие перспективы в плане выживания. Это интуитивно понятно: просто взгляните на нас, людей, на то, как мы адаптируемся и меняем среду вокруг себя сообразно своим потребностям, обладая, безусловно, самым глубоким сознанием среди всех видов.

## Упражнение, удовольствие, нейрогенез и ансамбли

Может ли существование нейронных ансамблей в мозге помочь нам понять связь между пластичностью, нейрогенезом, физическими упражнениями и самым таинственным явлением кажущейся первичности мысли как фактора, инициирующего изменения в мозге? Чтобы изучить этот вопрос, рассмотрим два возможных сценария, каждый из которых связан с энергичным движением, но будет характеризоваться разными размерами нейронных ансамблей.

Первый сценарий берет начало извне. Громкая музыка, крутой горнолыжный спуск или накрывающая с головой морская волна – все это приводит к сильному возбуждению, характеризующемуся мощным выбросом дофамина и последующему высвобождению эндорфинов. Эти процессы направлены на уменьшение размеров нейронных ансамблей, что, в свою очередь, феноменологически коррелирует с опытом наслаждения жизнью здесь и сейчас.<sup>[150]</sup> Чем мощнее и стремительнее «сенсационная» стимуляция извне и чем меньше ансамбль, тем более пассивным будет сознание, и реакция в некоторых случаях будет граничить со страхом.

Теперь черед второго, альтернативного сценария. У него когнитивное начало – изнутри. У вас была определенная мысль – например, было принято сознательное решение бегать трусцой. Это добровольное решение, как мы только что видели, обеспечит ключевые условия для нейрогенеза. Чем больше у вас нейронов, тем больше возможностей для разнообразных соединений между ними, а чем больше соединений, тем больше потенциал для пластичности. Мы также видели, что такая же стимулирующая, «обогащенная» среда, которая повышает пластичность, также приведет к формированию более крупных ансамблей и, следовательно, к углублению сознания. Но будет иметь место и обратное: большой нейронный ансамбль, в свою очередь, будет способствовать более детальному формированию локальной синаптической пластичности, и это займет значительно больше времени, чем формирование самого ансамбля.

Если ансамбли действительно являются нейрональным коррелятом сознания – если одно не может существовать без другого, – становится понятно, почему сознательная мысль необходима для стимуляции нейрогенеза и почему воображаемая игра на фортепиано может привести к повышению пластичности, которое наблюдалось в экспериментах. Со временем это дает значительный потенциал для увеличения размера

аллегорических «камней» и, следовательно, к большей глубине сознания. При этом модулирующие химические вещества играют меньшую роль, а диалог с внешним миром, как в экспериментах с игрой на фортепиано, в большей степени завязан на внутренних процессах мозга, нежели на внешних триггерах окружающей среды.

Глубокая мысль и рефлексия, вызванная, скажем, бегом, может стать нейрофизиологической основой популярного в настоящее время феномена «осознанности». Осознанность определяется как «психическое состояние, достигнутое путем сосредоточения осознания на текущем моменте, в то же время принятие своих чувств, мыслей и телесных ощущений». Помните, в начале вашей прогулки сегодня утром мы увидели, что одним из ощутимых эффектов городской среды является то, что она заставляет вас реагировать на внешние факторы, рассеивая ваше внимание, в то время как природная среда дает возможность проявлять большую активность, сосредоточиваясь на добровольных, осознанных действиях и мыслях?

Так и сейчас – ненавязчивая прогулка с Бобо позволила вашим внутренним мыслительным процессам идти своим чередом. Замечание Эда Стауртона о том, что прогулка с собакой – это бегство от обыденности, вполне может оказаться слишком верным. Обычная жизнь сейчас, к сожалению, настигает вас. Вы опаздываете в офис, и у вас остается время только для спешного завтрака.

## Завтрак

Вы возвращаетесь домой, включаете радио. Сейчас у вас есть время на то, чтобы наскоро позавтракать хлопьями и выпить чашку горячего кофе. В течение следующих примерно двадцати минут, пока вы едите, активная стимуляция ушей, глаз, языка, кончиков пальцев и носа будет управлять вашим сознанием. Конечно, в некоторых случаях сознание существует без явной стимуляции органов чувств – например в процессе медитации или когда вы просто крайне сосредоточены на определенной мысли, – но для этого требуются особые навыки. Большую часть времени процессы, протекающие в сознании, определяются тем, что происходит непосредственно вокруг вас, – пять чувств непрерывно наполняют мозг сонмами сигналов. Ощущения в той или иной степени влияют на сознание в каждый момент бодрствования: они поддерживают связь с внешним миром и позволяют правильно ориентироваться в нем. Возвращаясь к метафоре с камнем, брошенным в воду, мы ставим вопрос, на котором нам предстоит сосредоточиться в этой главе. Это вопрос силы броска: каким образом чувства и ощущения, чистые и простые, оказывают влияние на сознание? Но мы тут же сталкиваемся с двумя проблемами, и одна из них связана с пространством, другая – со временем.

## Пять чувств: пространственные свойства мозга

Пространственная проблема основывается на нейроанатомии и заключается в том, что сигналы от различных органов чувств обрабатываются по-разному. На первый взгляд все просто: вы либо видите что-то, либо слышите, ощущаете прикосновение, вкус, обоняете. В нашем распоряжении пять чувств, которые четко разграничены между собой. Но даже на самом базовом уровне области мозга, отведенные для обработки сигналов, поступающих от различных органов чувств, по своей сути не являются специфическими. У взрослых людей различные сенсорные системы даже могут нарушать формальные анатомические границы: зрительная кора слепых людей, например, активируется осязанием при чтении шрифта Брайля.<sup>[151]</sup> Более того, хорошо известно, что если вы теряете способность к восприятию одного из пяти чувств, другие становятся сильнее. Нейробиолог Хелен Невилл продемонстрировала, что глухота способствует улучшению зрения<sup>[152]</sup> и что глухие люди используют слуховые зоны мозга для обработки зрительных сигналов.<sup>[153]</sup> Между тем слепые люди могут различать звуки лучше, чем неслепые,<sup>[154]</sup> и они способны к более точному определению местоположения источника звука.<sup>[155]</sup> У людей с ослабленным зрением также лучше развиты и другие способности, такие как восприятие речи<sup>[156]</sup> и распознавание голоса.<sup>[157]</sup> И в экспериментах на животных, лишенных возможности использовать те или иные органы чувств, выявлено, что эти изменения могут быть колоссальными: к примеру, крысы способны демонстрировать трехкратное улучшение слуха спустя несколько дней нахождения в полной темноте.<sup>[158]</sup>

Однако даже без непосредственной стимуляции органов чувств мозг может осуществлять занятные трюки в обработке сигналов различных модальностей. Феномен синестезии (букв. «объединение чувств») известен науке на протяжении уже трех столетий. При синестезии возбуждение от одного органа чувств, которое подавляющее большинство людей отождествляют только с одной категорией ощущений, вызывает ощущения в двух различных модальностях. Например, цвета и формы можно «увидеть» при прослушивании музыки.

Здесь дело вовсе не в том, что одна область вторгается в сферу компетенции другой, а скорее в том, что связи между областями мозга необычайно изобильны и многогранны:<sup>[159]</sup> активация одной – допустим,

ответственной за распознавание букв – также вызывает прямую активацию другой, связанной, например, с распознаванием цвета. Возможно, существует механизм блокировки между различными участками коры, который должен обеспечивать четкую сегрегацию обратной связи во избежание возникновения любой двусмысленности но, очевидно, этот неприступный барьер нарушен в случае синестезии. Если сигналы обратной связи не прерываются типичным образом, то, возвращаемые с поздних этапов мультисенсорной обработки, они могут повлиять на более ранние стадии обработки вплоть до того, что звуковые сигналы начнут активировать зрительные участки. Это растормаживание может также проявляться в клинических картинах целого ряда расстройств, таких как сотрясение мозга, височная эпилепсия, инсульт и опухоли головного мозга. [\[160\]](#)

В любом случае существование феномена синестезии, наряду с компенсацией утраченных каналов восприятия за счет усиления других, подводит нас к неизбежному, но интригующему парадоксу: в то время как субъективный опыт чувственного восприятия очень разнообразен и индивидуален, нейрональные механизмы, опосредующие акт восприятия, стандартизированы и взаимозаменяемы. Как только сигнал из внешнего мира преобразуется в залпы потенциалов действия, его отголоски мгновенно отправляются в разные части мозга, где они оказываются в соответствующих участках коры, тем не менее сходных по строению и принципу обработки сигналов. Кажется, что все скроено по одному шаблону. [\[161\]](#)

Итак, в чем же заключается качественное различие в субъективных переживаниях? Как становится возможным формирование субъективного опыта той или иной модальности? Чем обусловлена такая избирательная сортировка, если физиологические механизмы обработки практически одинаковы? Ответы на эти вопросы помогут нам понять связь объективного и субъективного, физического и ментального.

## Пять чувств: временные свойства мозга

Еще одна проблема связана с ощущением времени: сигналы от разных сенсорных систем обрабатываются в мозге с разной скоростью, но вы тем не менее можете испытывать всю совокупность ощущений одновременно. Вы можете слышать хлопок и видеть соединившиеся ладони, и вы будете воспринимать эти события как одновременные, несмотря на то что слуховая обработка происходит быстрее, чем визуальная. И если в этот момент вы испытаете какое-либо тактильное ощущение в области лица – скажем, прикосновение к кончику носа, – все эти события сольются в один мультимодальный момент сознания, хотя сигнал от вашего носа достигает мозга быстрее всего, так как он проходит значительно меньшее расстояние. Это означает, что существуют временные окна, обуславливающие кажущийся единым момент сознания: окно – это время, в течение которого ощущения могут догнать друг друга, чтобы объединиться в знакомое мультисенсорное целое, которое мы называем «моментом сознания». Ваш мозг должен каким-то образом синхронизировать события. Для того, чтобы упорядочить все различные сенсорные модальности, необходимо обеспечить соответствующие временные задержки, и, безусловно, самый медленный сенсорный сигнал будет задавать темп.

Оказывается, эти временные окна могут охватывать до нескольких сотен миллисекунд. «Мы не осознаем фактический момент настоящего. Мы всегда немного опаздываем». Почти полвека назад гениальный физиолог Бенджамин Либет пришел к этому выводу, изучая пациентов отделения нейрохирургии местной больницы, у которых было просверлено отверстие в черепе для доступа к коре.<sup>[162]</sup> В одном из экспериментов Либет использовал электрод для стимуляции некоторых участков мозга, что вызывало у пациента ощущение покалывания в различных частях тела. Пациент не сообщал о том, что осознает стимул, в течение поразительно долгого промежутка времени – целых 500 миллисекунд. Эти полсекунды – вечность в масштабах мозговых процессов, учитывая, что потенциал действия составляет всего одну тысячную доли секунды. Кроме того, Либет продемонстрировал, что когда стимуляция применялась к отдаленной части тела, например к ступне, проходил значительный промежуток времени от момента регистрации события в мозге до осознания этого события пациентом. И дело не только в существовании временного окна, гарантирующего своевременную обработку даже самых медленных

сигналов: осведомленность сознания, кажется, наступает еще позже. Исследования показывают, что когда испытуемые классифицируют изображения, представленные в произвольном порядке, по категориям (скажем, «животные» и «транспортные средства»), мозг распознает разницу на раннем этапе обработки, в то время как «сознательное» решение возникает гораздо позже (спустя примерно 250 миллисекунд).<sup>[163]</sup> Эти периоды, очевидно, обеспечивают оптимальный запас времени для формирования и расформирования нейронных ансамблей.

Нейроны в пределах ансамбля не работают как изолированные телефонные кабели, независимо передающие информацию. Вместо этого ансамбль представляет собой самоорганизующуюся, целостную структуру, функционирующую в течение сотен миллисекунд. Область этой самоорганизации медленно распространяется от эпицентра, как рябь, и только когда она достигает значительной площади, можно говорить о моменте сознания. Теперь не кажется удивительным, что этот процесс занимает до половины секунды.<sup>[164]</sup>

Но проблема пространства все еще не решена. Остается неясным, как расположение соответствующих структур коры соотносится с субъективными различиями слуха и зрения. Возможно, различия в восприятии ощущений разных модальностей каким-то образом связаны с различиями в свойствах нейронных ансамблей зрительной и слуховой коры, которые проявляются только спустя некоторый промежуток времени. Будь это так, мы могли бы выявить феноменологию слуха и зрения, используя некий критерий объективной физиологии. Но как выявить этот критерий?

Пока очень сложно сопоставить феноменологию с тем, что мы объективно наблюдаем в мозге. Тем не менее у меня есть одно предположение. В физиологическом смысле зрение в первую очередь (но не исключительно) фиксирует разницу в пространственном расположении элементов, в то время как слух в первую очередь (но не исключительно) фиксирует временные различия. Тогда пространственные особенности нейронных ансамблей, изменяющиеся в течение определенного временного промежутка, могут помочь нам разработать новое дополнение к инструментарию нейронауки. В идеале мы должны сформировать единый критерий пространства-времени, своего рода феноменологическое математическое уравнение, которое также может быть применено к описанию субъективного сознания.

## Мультисенсорное восприятие

Но как устроено сознание на самом деле? Восприятие едино или все пять чувств следует рассматривать по отдельности? Каждый согласился бы, что существует пять различных типов ощущений, поэтому было бы разумно заключить, что сознание тоже дробно и мозг поддерживает пять независимых каналов обработки, четко разграничивая пять отдельных категорий чувств, которые затем вносят свой вклад в формирование сознания. Это рассуждение кажется грубым и прямолинейным, но, как мы знаем, данной точки зрения придерживались покойный Фрэнсис Крик и его коллега Кристоф Кох, стремившиеся выявить нейрональный коррелят сознания отдельно для зрительного восприятия, которое, как предполагалось, может полноценно существовать независимо от других чувств. [\[165\]](#)

Еще в 1978 году был разработан новый подход к обучению на основе этой концепции. Идея заключалась в выделении трех «стилей обучения»: визуального («V»), аудиального (слухового) («A») и кинестетического («K») – «ВАК». «ВАК» изначально был предложен американскими педагогами Ритой и Кеннетом Данном более тридцати лет назад как способ объяснить индивидуальные различия в способностях к обучению у детей. [\[166\]](#) На базе этой концепции разрабатывались методики для оптимизации учебного процесса. Но теория развилась гораздо дальше, предполагая, что одни люди по своей природе являются преимущественно «визуалами», другие – «аудиалами», а третьи – «кинестетиками». [\[167\]](#)

И все же ни одно независимое исследование не обнаружило подтверждения теории «ВАК», и единственным фактором, влияющим на результаты применения соответствующей методики, по-видимому, является энтузиазм учителя. Но почему эта теория долгое время казалась такой привлекательной? Обоснование снова возникает из обманчивого понятия автономных структур мозга, своего рода «модулей», каждый из которых осуществляет свою независимую функцию. На протяжении миллионов лет эволюции в мозге возникали и совершенствовались множество специализированных структур, современные люди приспособили многие из этих структур к выполнению сложнейших когнитивных функций. Однако доказательство несостоятельности теории «ВАК» заключается в том, что эти функциональные модули работают должным образом, только будучи взаимосвязанными, и не способны функционировать изолированно.

В качестве подтверждения выступает эксперимент, проведенный когнитивным нейрофизиологом Станисласом Дехайном. Он попросил своих испытуемых осуществить ряд простейших арифметических вычислений во время сканирования мозга – например, вычесть семь из ста, затем вычесть семь из получившегося остатка, и так далее. Тем не менее, когда Дехайн изучал полученные снимки с целью выявить области значимой активности, оказалось, что в процессе нехитрых арифметических вычислений задействуется целая дюжина различных областей мозга. Иными словами, еще одно исследование показало, что мозг всегда функционирует как единое целое.

На основе поступающих зрительных сигналов мозг создает пространственные «карты» мира. Это справедливо даже для людей, слепых от рождения: их мозг тоже создает такие карты. Очевидно, что слепые получают первоначальную информацию не визуально, а ориентируясь на прикосновения и звуки, но эти данные обрабатываются таким же образом, как у зрячих людей.<sup>[168]</sup> Итак, существует мультисенсорный, кросс-модальный процесс, в котором информация, будь она кинестетической, звуковой или визуальной, взаимосвязана и складывается в единую информационную картину мира.

Вы, возможно, замечали, что чтение по губам помогает расслышать речь даже при сильном фоновом шуме.<sup>[169]</sup> Мультисенсорные стимулы повышают эффективность обработки информации даже в тех участках коры, которые заточены под первоначальную обработку сигналов одной сенсорной модальности.<sup>[170]</sup>

Хотя мы можем выделять пять разных чувств, наш мозг, тем не менее, обычно воспринимает картину в целом. Все виды мышления включают в себя элемент абстракции. Независимо от сенсорного входа, посредством которого мы получаем информацию, сознание делает акцент на смысле. Хорошим примером «абстракции» может послужить прогулка по утреннему лесу: вдыхая прохладный влажный воздух, наблюдая за игрой солнечных бликов, прислушиваясь к шуму древесных крон, вы ощущаете прежде всего покой и умиротворение. Вы не чувствуете никакой необходимости различать отдельные ощущения. Момент сознания – это нечто большее, чем сумма его составляющих.

Однако существует мнение, что восприятие различных модальностей соотносится с разным «количеством» сознания.<sup>[171]</sup> Наибольшую долю занимает зрение, за которым следуют вкус, осязание, слух и, наконец, обоняние. Но термин «сознание» в данном случае может ввести в

некоторое заблуждение. Сознание подразумевает не только выраженность прямого сенсорного опыта, но и вклад личного значения. Как прекрасно подметил антрополог Клиффорд Герц: «Человек – это животное, путающееся в сетях смыслов, которые он сам расставил».<sup>[172]</sup> Поэтому стоит пересмотреть ранжирование ощущений – не столько по «количеству» сознания, сколько по контексту и смыслу.

Возьмем зрение, которое, безусловно, является самым конкретным и наименее абстрактным из чувств. Мир вокруг нас состоит из силуэтов, узоров, оттенков бликов и теней, и все эти цветные фигуры обычно имеют для нас четкий смысл. То, что вы видите, как мы обсуждали в предыдущей главе, неизменно «значит» для вас что-то личное, всегда существует контекст. Когда вы оглядываетесь вокруг, вы не просто видите абстрактные цвета и формы, вы получаете доступ к своим персональным воспоминаниям, ассоциациям, ощущениям в определенный момент вашей жизни: этот камень будет относительно большим.

Следующим идет вкус. Опять же, контекст будет четким: вы ощущаете очень специфические свойства еды или напитка. Одним из факторов определения вкуса является сопоставление. В одном исследовании испытуемые оценивали образец лимонада с точки зрения того, насколько он сладкий или кислый. После первой дегустации добровольцам предложили другой образец лимонада, который содержал меньше сахара и больше лимонного сока. Когда пришла очередь третьего напитка, который на самом деле был идентичен первому образцу, большинство людей оценили его как наиболее сладкий из трех.<sup>[173]</sup> На вкус могут сильно влиять оформление блюда, его консистенция и температура и т. д. И поскольку вкус существенно зависит от сопутствующих ощущений, все они в совокупности будут определять контекст, и, следовательно, восприятие так же будет завязано на ассоциациях – и снова это довольно крупный камень.

Зрение и вкус считаются соответственно на 90 и 80 % «осознанными», но более точным термином будет «контекстно-зависимые». Формальные проценты бессмысленны: это лишь их относительная значимость по сравнению с другими чувствами. Осязание значительно менее контекстно-зависимо. Прикосновение бархата, шелка, древесной коры или обнаженной кожи можно ощутить в самых разных ситуациях. Но обычно для вас важно значение этого ощущения здесь и сейчас, остальная же часть контекста, в который этот объект вписывается, не так существенна. Больше внимания теперь уделяется прямому ощущению от взаимодействия с поверхностью: этот камень значительно меньше, и крайне важной становится сила броска.

Далее за осязанием следует слух. По сравнению со зрением, вкусом и осязанием слух более пассивен и менее контекстно-зависим. Звук всегда сам находит вас, а не наоборот. Требуется меньше ловчих сетей. Именно способность слышать исчезает последней под воздействием общей анестезии, а также первой возвращается, когда пациент пробуждается.<sup>[174]</sup> Этот камень мал, и сила броска имеет первостепенное значение.

Наконец, обоняние. Из всех чувств оно является самым свободным от контекста. Интересно, что потеря обоняния – один из ранних признаков болезни Альцгеймера,<sup>[175]</sup> потому что путь, соединяющий нос и мозг, переходит непосредственно в «лимбическую систему». Лимбическая система представляет собой обширный кластер мозговых структур, который связан с ранними этапами процессов памяти и, что наиболее важно в данном случае, с эмоциями. Поэтому неудивительно, что запах может вызывать такие сильные и непосредственные эмоции, будучи самым примитивным из всех ощущений. Запах, без сомнения, – мощный первобытный стимул, который позволяет животному мгновенно определить, является ли нечто съедобным, раненым или сексуально привлекательным, позволяет отслеживать добычу на больших расстояниях. Вполне логично, что у людей это чувство, связанное с мгновенными, инстинктивными реакциями, притуплено. Тем не менее по сравнению с другими видами у человека с обонятельным восприятием связаны более крупные области мозга.<sup>[176]</sup> Количество и качество обонятельной обработки может быть ориентировано в большей степени для формирования памяти. Однако даже для нас, людей, «подсознательные» эффекты запахов не следует недооценивать.

Возьмем феромоны. Эти коварные химические вещества встречаются в животном мире в самых различных контекстах, начиная от определения границ территории и заканчивая сигналом к размножению. Для людей феромоны в основном выступают как регулирующий фактор социального и сексуального поведения. Хотя механизмы воздействия феромонов остаются спорными, есть данные, что эти химические вещества действительно оказывают на нас удивительное влияние.<sup>[177]</sup> Например, используя только обоняние, люди могут идентифицировать кровных родственников. Матери могут узнавать своих детей по запаху их тела, и наоборот. Так же дети могут отличать своих родных братьев и сестер, что, возможно, призвано препятствовать кровосмешению.<sup>[178]</sup> Очевидно, что примитивное ощущение родства обусловлено не когнитивными факторами.<sup>[179]</sup> В этом случае камень сам по себе совсем мал, эффект от броска определяется

только его силой – это самое базовое чувство.

Активация различных чувств приравнивается к разной силе броска камней разных размеров. Зрение, в силу прочной зависимости от контекста, соотносится с большим камнем, не обязательно брошенным с большой силой. В то время как запах был бы противоположным пределом – сильное сырое ощущение без непосредственного и очевидного контекста – крошечный камень. Но и такой камень, брошенный с большой силой, все еще может пустить по воде ощутимую рябь. Пожалуй, одним из лучших примеров этому является музыка.

## Мозг и музыка

Музыка определяется словарем как «вокальные или инструментальные звуки (или и те и другие), объединенные таким образом, чтобы создавать гармонию, красоту формы и выражения эмоций». Тем не менее это определение не отражает колоссального значения музыки для нашего биологического вида. Задумайтесь, музыкальная индустрия на самом деле занимает большую долю в экономике, чем фармацевтическая.<sup>[180]</sup> В вековых дебатах о том, что делает нас людьми, некоторые ученые утверждают, что навыки жестового языка в ограниченной степени возможны и у других специально обученных приматов, но не замечено, чтобы кто-то из братьев наших меньших был способен создавать музыку и наслаждаться ею так, как это умеет человек.

Музыка – неотъемлемая часть нашей жизни. Но обладает ли она эволюционной ценностью или это «побочный продукт эволюции»,<sup>[181]</sup> «чизкейк для слуха»,<sup>[182]</sup> как выразился психолог Стивен Пинкер, – достаточно приятный, но вряд ли эволюционно значимый? Это может означать, что она воздействует на системы вознаграждения головного мозга так же, как рекреационные наркотики, тем самым подчиняя себе механизмы, которые изначально развивались для удовлетворения нужд, связанных с выживанием, например еду и секс.

В ряд факторов, обуславливающих значимость музыки, мы можем включить социальную сплоченность, развитие восприятия и моторики.<sup>[183]</sup> Робин Данбар, антрополог из Оксфордского университета, ставит музыку и танец в один ряд с религией и фольклором: это явления, поощряющие «социальную сплоченность».<sup>[184]</sup> Он считает, что без музыки и танца социальная сплоченность не достигала бы такой прочности и изощренности, какую она имеет у людей. Мы можем вступать в сложные социальные взаимодействия, и музыка порой является непосредственным связующим звеном. Возможно, ценность музыки исходит от ритуальности.<sup>[185]</sup> Ритуалы обеспечивают структурированность общины и прочную связь поколений, которые не встречаются в сопоставимой форме у других видов.

На первый взгляд кажется, что музыка слишком культурно разнообразна, чтобы быть неотъемлемой частью жизни. Однако Йен Кросс, музыковед из Кембриджского университета, утверждает, что существует общая черта во всех типах музыки, а именно: «регулярная и

периодизированная временная организация».<sup>[186]</sup> Неудивительно, что инструменты, которые обеспечивают базовый ритм, такие как погремушки, шейкеры и барабаны, были созданы людьми одними из первых. Но почему ритм так важен?

Значение ритма во взаимодействии взрослого человека с младенцем будет заключаться в том, что младенец концентрирует внимание и реагирует на временные циклы в звуках голоса и движениях взрослого, которые не были бы доступны в обычной речи. Это самый распространенный в мире вид общения с ребенком: мать качает младенца на коленях, держа его за ручки и напевая или проговаривая какой-нибудь стишок. Наряду с тренировкой сенсорно-двигательной координации эта игра – также и опыт межличностного взаимодействия, закрепление коммуникативных навыков. Кросс определяет музыку как «естественное стремление к социально-культурному обучению, которое начинается в младенчестве».<sup>[187]</sup>

Без сомнения, все согласятся с тем, что музыка неизбежно влечет за собой движение. Если, как мы видели в главе 3, «мышление – это движение, ограниченное мозгом», то музыка пробуждает это движение. Воздействие музыки, безусловно, помогает мозгу развиваться.

В совокупности эти данные говорят о том, что музыка может подменять биологически полезные стимулы, имитируя приятный опыт, сходный, например, с удовольствием от употребления шоколада<sup>[188]</sup> или наркотиков, таких как кокаин.<sup>[189]</sup> Однако снижение активности амигдалы приводит к тому, что положительное чувство может также быть связано с блокировкой реакций страха. Интересно отметить, что музыка была отмечена как один из немногих примеров положительно возбуждающего стимула, который способен снижать активность в этой области мозга. Таким образом, «удовольствие» от музыки может быть вызвано как толчком, так и тягой. С одной стороны, стремлением к положительной активации областей мозга, связанных с удовольствием, а с другой – желанием избавиться от страхов и негативных эмоций.

Неудивительно, что во время прослушивания музыки активируется так много областей мозга. Ритм, тональность и гармония музыки обеспечивают повторяющийся цикл ожидания и вознаграждения. К длинному списку задействованных в этом процессе областей мозга мы также можем добавить мозжечок. Наличие этой структуры, похожей на мини-мозг, является характерной особенностью всех позвоночных – он несет функцию «автопилота», осуществляя сенсорно-двигательную координацию самого

автоматизированного типа. Если вы «бессознательно» отстукиваете ритм, скорее всего, это привет от вашего мозжечка.

Излишне говорить, что если музыка вызывает сильные эмоции, было бы странно, если бы здесь не был замешан дофамин. Доктор Валори Салимпур и ее команда из Института Ротмана в Торонто задались вопросом о том, что если музыка может вызывать чувство эйфории и ощущения, сходные с ожиданием вознаграждения, которые опосредованы дофаминергической системой, тогда прослушивание музыки может способствовать высвобождению дофамина. Впоследствии ее команда получила подтверждение этой теории.<sup>[190]</sup>

Давно известно, что активность в правом полушарии явным образом коррелирует с эмоциями, и тот факт, что эта часть мозга чувствительна к музыке, позволяет предположить наличие связи между эмоциями и тональностью музыки.<sup>[191]</sup> Это довольно разумно, поскольку мелодию в музыке можно рассматривать как аналог тона в человеческой речи, который, в свою очередь, указывает на эмоциональную окраску: музыкальные тона могут быть просто преувеличениями привычной речевой тональности. Дальнейшее сходство между музыкой и языком еще более очевидно: оба явления уникальны для нашего биологического вида, отражают особенности различных культур и исторических эпох. У обоих есть четкие, культурно зависимые правила и рамки для выражения.

Но есть существенные различия между этими явлениями, указывающие на то, что они дополняют, а вовсе не дублируют друг друга. В то время как разговорный язык изначально возник для обеспечения эффективного взаимодействия с небольшим числом людей, музыка представляет собой более массовый способ передачи информации. Но самое главное – музыка не ограничена описанием конкретных фактов или идей. Кроме того, музыка способна пробуждать эмоции, не вызывая воспоминаний: мы уже выяснили, что слух наименее зависим от контекста. Как красноречиво выразился известный невролог Оливер Сакс: «Музыка не имеет понятий и не делает никаких предположений. У нее нет власти материализовать что-либо. Она не имеет никакого отношения к миру».<sup>[192]</sup> Слова Дэвида Гурона еще более лаконичны: «Музыка никогда не сможет достичь однозначной ясности языка, а язык – абсолютной двусмысленности музыки».

Таким образом, язык и музыка – это две стороны одной медали, и обладание этой медалью – уникальная привилегия нашего вида. Музыка дает нам возможность ощущать жизнь ярче, отчетливее и многограннее, в

то время как язык необходим для того, чтобы сослаться на вещи, которые вы не можете обнаружить непосредственно с помощью органов чувств. Музыка поглощает, но не призывает немедленно реагировать, как прыжок с парашютом или рафтинг.

Однако если музыка погружает в состояние «здесь и сейчас», которое все же отличается от интерактивности, скажем, горнолыжного спорта, то, возвращаясь к нашей аллегории, насколько широко разойдется рябь на поверхности воды?

Но вы не обращаете внимания на все эти махинации своего мозга. Вы чувствуете лишь то, что Моцарт наполняет ваши уши, беспардонно овладевая сознанием, вызывая бурю ощущений в произвольной, нелогичной последовательности, в то время как глаза, руки и ноги существуют как будто автономно. Но внезапно что-то вторгается в ваше сознание. Ваш драгоценный внутренний мир, наполненный музыкой, теперь отступает на второй план – вы подошли к двери своего офиса.

## В офисе

Время музыки и неторопливых размышлений закончилось: теперь вы должны обратить свой взгляд вовне. Вы находитесь в громадной коробке из стекла и бетона и не испытываете прежних приятных эмоций. Вы садитесь за свой рабочий стол, идентичный дюжине других. Рутинная работа накрывает вас с головой. Кажется, что рабочий день будет длиться вечность.

Мы проводим в среднем около восьми часов в день на работе,<sup>[193]</sup> поэтому рабочее место как нельзя лучше подходит для изучения влияния окружающей среды на человеческое мышление. Вероятно, никого не удивит тот факт, что в классных комнатах с естественным светом процесс обучения оказывается эффективнее, чем в условиях искусственного освещения, или что дизайн больничных палат может повлиять на скорость выздоровления пациентов. Но, несмотря на эти интуитивные находки, мы до конца не понимаем, как объяснить эти эффекты.<sup>[194]</sup>

Безусловно, это крайне важный вопрос. Воздействие различных стимулов на ваши органы чувств играет решающую роль в поддержании определенного состояния вашего мозга от момента к моменту. И для сознания важен персонализированный контекст поступающей информации (размер ментального камня, а также сила, с которой его бросают). И если размер камня соответствует долгосрочным локальным нейронным связям, которые, в свою очередь, обусловлены долгосрочным и стабильным состоянием среды, то окружение, в котором вы проводите восемь часов своей жизни ежедневно, будет иметь решающее значение для вашего сознания. Если даже бесхитростные крысы и мыши демонстрируют впечатляющие метаморфозы в условиях «обогащенной» среды – от состояния нейронов и биохимических показателей в их мозге до сложных структурных перестроек и, в конечном счете, поведения, – тогда какое влияние может оказывать рабочее место на такое сложное существо, как вы?

Парадигму экологического обогащения можно легко создать и использовать в экспериментах с лабораторными животными, но задача бесконечно сложна для людей, потому что окружающая нас среда чрезвычайно многогранна, мультисенсорна. Для аналогичного эксперимента было бы невозможно разработать полноценный «дифференциальный» сценарий. К тому же неэтично закрывать даже самых ярых добровольцев на длительные периоды в заведомо угнетающей среде

для выявления отличий от влияния обогащенной среды.

К сожалению, невольными участниками такого «эксперимента» стали воспитанники румынских детских домов во времена жестокого режима Чаушеску. Из-за роста рождаемости, вызванного запретом на аборт и контрацепцию, в 1970-е и 1980-е годы прошлого века в приютах оказалось множество детей. Здоровые малыши росли вместе с инвалидами и психически больными, подвергались жестокому и пренебрежительному обращению, и это явно влияло на мозг – как на умственное, так и на физическое развитие. У многих наблюдалась значительная задержка моторного и речевого развития, коммуникативные навыки были очень скудными.<sup>[195]</sup> По результатам исследования румынские сироты в возрасте от двадцати трех до пятидесяти месяцев демонстрировали задержку психического развития, которая, что удивительно, не была связана с продолжительностью нахождения в приюте, возрастом при поступлении или весом при рождении. Чудовищные условия содержания и пренебрежение, казалось, превзошли по значимости любые другие факторы.<sup>[196]</sup>

Врачи, изучавшие сирот, наблюдали снижение количества как белого, так и серого вещества в головном мозге, а также признаки сниженной нейрональной активности в широком диапазоне областей мозга.<sup>[197]</sup> Однако некоторые из худших последствий лишений постепенно сглаживались, если ребенок попадал в приемную семью,<sup>[198]</sup> что еще раз иллюстрирует адаптивные возможности мозга.

Разумеется, большая часть человеческого опыта не может быть однозначно классифицирована как стимулирующая либо угнетающая. Даже экстремальный образ жизни, сопряженный с разного рода ограничениями, такой как жизнь бездомного на улицах Лондона, вполне может содержать элементы стимулирующего межличностного взаимодействия, запоминающиеся и поучительные переживания. Субъективные факторы, например персонализированные реакции и индивидуальные интерпретации конкретных событий, а также потребности и мотивация каждого человека в отдельности, несомненно, играют важную роль. Иными словами, для человека «обогащенность» среды определяется его индивидуальными склонностями и предпочтениями.<sup>[199]</sup>

Для того чтобы взяться за изучение воздействия окружающей среды на сознание человека, действительно неплохо начать с рабочего стола. В конце концов, офисный образ жизни довольно стандартизирован, ограничен правилами, иерархиями и конкретными задачами – это немного

упрощенная модель реального мира. Тем не менее в наших размышлениях нам все равно придется выходить за пределы физических свойств этой среды. Субъективные реакции будут играть важную роль в формировании нейронных ансамблей и, следовательно, в сознании. Таким образом, рабочее место предлагает интригующую возможность изучить более сложные аспекты, характерные для человеческого мышления: индивидуальность и самосознание. Итак, с чего начать? Возможно, с наиболее очевидного: объективных физических свойств окружающих нас вещей, из которых самым распространенным, даже в офисе, является цвет.

## Физические свойства: цвет

Человек с нормальным цветовым зрением может различать ошеломляющие 2, 3 миллиона оттенков,<sup>[200]</sup> и физиологические аспекты цветовосприятия хорошо изучены и подробно описаны.<sup>[201]</sup> Тем не менее загадочным остается субъективный опыт видения цвета. Мы можем описать наше восприятие, скажем, красного, только путем сравнения данного оттенка с оттенками других известных нам красных предметов – яблока, крови и т. п. Поэтому «красность» часто выступает в качестве примера так называемого квалиа – эфемерного субъективного опыта, который невозможно постичь каким-либо другим образом, кроме непосредственного переживания.

Двести лет назад Гёте описывал синий как «отступающий» цвет, в отличие от красного, который «проникает внутрь». У желтого относительно большая длина волны, которая вызывает длительное возбуждение: различные психологические исследования показали, что желтый цвет провоцирует выраженную эмоциональную реакцию, улучшая настроение. Зеленый, в свою очередь, активизирует средневолновые спектры чувствительных клеток в центральной зоне сетчатки.<sup>[202]</sup> Некоторые ученые считают, что зеленый свет не требует последующей окулярной настройки и, следовательно, способствует расслаблению.

Более того, когда один цвет контрастирует с другим, это также влияет на уровни возбуждения. Красный цвет имеет большую длину волны, чем синий, и считается, что различия в длинах волн двух цветов могут создать иллюзию того, что смежные квадраты разных цветов находятся на неодинаковом расстоянии от наблюдателя.<sup>[203]</sup> Так что цвета сами по себе наиболее абстрактным образом могут влиять на человеческое сознание просто из-за своих физических свойств, а не в силу каких-либо психологических, «когнитивных» ассоциаций, которые могут накапливаться в течение жизни.

Но что может происходить на нейрональном уровне? Прямо влияя на возбуждение тем или иным образом, разные цвета будут изменять интенсивность высвобождения различных нейротрансмиттеров. Это, в свою очередь, влияет на формирование нейронных ансамблей – как бы меняя глубину и чистоту водоема, в который мы бросаем камни. Глубокое застойное болото окажется менее эффективной проводящей средой, рябь на поверхности которой будет медленной и слабой по сравнению с чистой

водой в неглубоком пруду. Поэтому семейство модулирующих химических веществ играет решающую роль в этом процессе.

Теперь перейдем к силе броска. Цвет фиксированной длины волны может варьировать по яркости, и бледно-красное пятно не будет столь же возбуждающим, как насыщенное, яркое, хотя оба они красные. Чем ярче цвет, тем сильнее импульс. Итак, цвет способен оказывать различные эффекты в силу его простых физических свойств: длины волны и яркости. Но что определяет размер камня – субъективное значение цвета?

В реальной жизни за пределами лаборатории огромное значение имеет контекст. Многие эффекты цвета будут опосредованы образованными ассоциациями. Например, хорошо известно, что красное усиливает внимание. И на ум сразу приходят запрещающий сигнал светофора, кнопка пожарной сигнализации, знак «стоп» и другие условные сигналы об опасности. Однако если выбор цвета основан на особенностях его прямого физиологического воздействия на частоту пульса, частоты сердечных сокращений и т. д., будет невозможно отделить сенсорное от когнитивного: эффекты повышения уровня возбуждения с помощью нейромодуляторов и ассоциативные реакции будут взаимно усиливать друг друга.

Теперь представьте себе, что вокруг вас много зеленого цвета, – у вас тут же возникают ассоциации с растительностью, предполагающей присутствие воды. На самом атавистическом уровне это успокаивает вас. Однако в негативном контексте зеленый цвет может придавать бледность, поскольку является самым распространенным в природе. Точно так же синий ассоциируется с океаном и небом, вызывая ощущения простора и безмятежности, но также и холода.

Хорошо известно, что цвет влияет на потребительское поведение.<sup>[204]</sup> Крупные компании, вроде Facebook и Twitter, часто используют в дизайне логотипов синий – этот цвет ассоциируют с компетенцией.<sup>[205]</sup> Красный, который ассоциируется, кроме прочего, со статусом, подходит для предметов роскоши, например для спортивных автомобилей. Именно этот цвет был наиболее глубоко изучен, с тех пор, как британский врач Хэвлок Эллис написал в «Психологии красного» (1900): «Среди всех цветов наиболее остро выраженный эмоциональный тон, несомненно, принадлежит красному». Он ассоциируется с жизненной силой, это цвет крови. Покраснение кожных покровов сопутствует сильным эмоциям – гневу и смущению, сексуальному возбуждению, также это цвет спелых фруктов. Красный несет больше значений (и, следовательно, с ним потенциально связано больше нейронных соединений), чем любой другой.<sup>[206]</sup>

Все эти выводы могут показаться надуманными или упрощенными. Но если конкретные цвета связаны с конкретными типами реакций, это, вероятно, потому, что они влияют на три фактора, определяющих сознание, – интенсивность ряби на водной глади. Во-первых, это размер камня (ассоциации, сформированные опытным путем), во-вторых, сила, с которой брошен камень (яркость цвета), и, в-третьих, легкость, с которой возникает рябь (доступность модуляторов, что, в свою очередь, связано с силой возбуждения).

## Взаимодействие: пространство

Наряду с цветом есть не менее важный параметр окружающей среды, настолько очевидный, что упоминание о нем кажется излишним: пространство. Хотя восприятие цвета вполне может быть пассивным, мы знаем, что определенные цвета могут сделать нас более бдительными или расслабленными, заинтересованными или равнодушными. Но пространство вокруг предполагает не просто реакцию, а взаимодействие: возможность физического перемещения. Опыт перемещения в пространстве, в свою очередь, будет влиять на нейронные связи, а значит, и на нейронные ансамбли. Что же мы можем сказать об офисе в данном ключе?

В начале двадцатого века офисы стали появляться повсеместно: электрическое освещение позволило повысить производительность, и оно обходилось дешевле, чем газовое. Пишущие машинки и ЭВМ ускорили обработку информации, телефоны и телеграфы обеспечили надежные линии связи, и, наконец, с изобретением лифта и стальных конструкций стала возможной постройка высотных зданий. Неизбежно со временем архитектура офиса эволюционировала и оказалась предметом архитектурных экспериментов.<sup>[207]</sup>

Обоснование этих экспериментов состоит в переосмыслении физического пространства в соответствии с социальными потребностями человека. В «Бюро XXI века» (2003) Джереми Майерсон и Филипп Росс вывели четыре ключевых момента. Первый – идейность: на контрасте с однообразностью старомодных офисов современное рабочее пространство отражает идею компании. Второй – многофункциональность: офисы включают в себя различные помещения, каждое из которых соответствует потребностям компании и сотрудников, с интерактивными пространствами для встреч, зонами отдыха и т. д. Третий момент – среда стимулирует и поощряет взаимодействие между сотрудниками. И наконец, четвертый: рабочее место больше не должно находиться в фиксированном пространстве, а рабочий график не должен быть строго регламентирован, поскольку цифровые технологии обеспечивают большую свободу в выборе стиля работы.<sup>[208]</sup> Общая идея заключается в обеспечении большей свободы с точки зрения времени и пространства. Но эффективен ли такой подход в достижении поставленных целей?

На эту тему неоднократно проводились исследования, в которых

участвовали компании, практикующие творческий подход к организации офисных пространств.<sup>[209]</sup> Одно из них состоялось в штаб-квартире пенсионного бюро в Швеции, где организация отошла от концепции небольших традиционных офисов к более свободной планировке с «горячими столами» – рабочими станциями, которые никому не принадлежат на долгосрочной основе и могут использоваться кем угодно. Как сообщается, это привело к большому недовольству среди сотрудников.<sup>[210]</sup> В другой шведской компании все сотрудники работали в офисах открытой планировки, включая генерального директора. На каждом этаже были установлены удобные кухни с диванами и современной техникой. Как оптимистично сказал один менеджер, «когда сотрудники работают вместе в общем пространстве, они находятся в центре информационного потока. Они постоянно включены в рабочий процесс и могут общаться более свободно».

Другое исследование было проведено в британском офисе, который также был организован по принципу свободного пространства, имел специфический дизайн и стремился объединить ощущения «отдыха, творчества и резонанса». В здании имелись комнаты для релаксации, фитнеса и кафе со средиземноморской кухней. Отсутствие фиксированных границ было ключом к дизайну пространства. Идея заключалась в стимуляции взаимодействий между сотрудниками, однако на практике все сводилось к формированию конкурирующих команд, стремящихся к обособлению, в том числе и путем разграничения территории предметами мебели. Многие сотрудники признавались, что организация оказалась более фрагментированной и что межгрупповые границы еще более заметны, чем в обычных офисах.

Эти два исследования показывают, что офисные проекты открытой планировки часто, хотя и не всегда, приводят к эффектам, противоположным ожидаемым. Данная концепция в конечном итоге ведет к спонтанной самоорганизации персонала и не способствует ненавязчивому взаимодействию и обучению. Иными словами, она делает сотрудников нервными и застенчивыми.

Открытое пространство – это не просто отсутствие барьеров, его пустота может быть пугающей. Не зря устоявшийся метод оценки тревоги у крыс – это наблюдение за поведением и перемещениями на открытом пространстве.<sup>[211]</sup> Конечно, крыс не заботят тонкости рабочего процесса, но гораздо более простая черта является общей для людей и грызунов: открытые пространства делают нас уязвимыми. Для людей в офисе эта

уязвимость может выражаться в ощущении постоянного наблюдения, потери уединенности. Такое рабочее пространство предлагает не столько свободу быть собой, сколько смущающую противоположность.

Еще в 1927 году чикагская компания *Western Electric* провела плодотворное исследование влияния качества освещения на мотивацию и производительность двадцати тысяч сотрудников одной из своих фабрик. [212] Повышение производительности в группе, работающей при более ярком освещении, довольно предсказуемо, но интрига заключалась в том, что производительность также улучшилась и в контрольной группе, которая работала при прежнем уровне освещенности. Разгадка заключается в том, что контрольной группе сообщили, будто она является объектом исследования, поэтому сотрудники работали более усердно, зная, что за ними пристально наблюдают. Исследование показало, что работники были мотивированы не столько условиями труда и даже не экономическими факторами – решающую роль сыграла эмоциональная включенность и заинтересованность начальства и коллег.

Каков же будет потенциал рабочей среды, основанный на этих неосязаемых «психологических» факторах? Одно из исследований, проведенное Колледжем архитектуры и экологического дизайна в Калифорнии, было сосредоточено на группе людей творческих специальностей из разных исследовательских центров университета. [213] Не кажется удивительным, что свобода передвижений и взаимодействий значительно облегчала их общение, и эти взаимодействия положительно влияли на творческий процесс. Члены группы могли свободно делиться мнениями и консультировать друг друга. Позже выяснилось, что ошеломляющие 80 % «консультаций» происходили не в ходе спланированных совещаний, а во время внеплановых визитов в офис или случайных встреч, и эти виды взаимодействий оказались наиболее продуктивными. [214]

Теплота и доброжелательность, простое удовольствие от зрительного контакта, упрощающий взаимопонимание язык тела и, прежде всего, новые идеи, которыми может подлиться с вами коллега, – это то небольшое, что может дать простая беседа. Ни один из этих эффектов не может быть с точностью измерен, что, впрочем, только ярче подчеркивает «психологические» особенности рабочей среды, которые могут быть выявлены лишь косвенно.

Однако мы уже выяснили, что офисы открытой планировки противоречат естественной потребности людей в уединенности и

возможности отстаивать свою индивидуальность. Идеальный дизайн, по-видимому, представляет собой среду, которая обеспечивает комфорт и безопасность и в то же время дает возможность переходить в общие пространства для свободных взаимодействий. [\[215\]](#)

## Субъективные реакции

Говоря об индивидуальности, я бы выделила пять основных критериев.<sup>[216]</sup> Первый из них – сознание, второй – разум, система ценностей и убеждений, третий – контекстность восприятия, четвертый – способность анализировать и, наконец, пятый – способность к обобщению опыта. Давайте более подробно рассмотрим каждый критерий в отдельности.

Во-первых, довольно очевидно, что вы можете воспринимать себя как личность, только когда вы способны осознавать. Итак, вы должны быть полностью сознательными, бодрствовать. Во-вторых, ваш разум должен быть работоспособным, не «потерянным» под воздействием наркотиков или алкоголя. Вы должны иметь возможность формировать личную интерпретацию происходящего. Ваш уникальный ум – ваши особые нейронные связи – позволит вам не просто понять, что происходит вокруг, но и использовать ценности и убеждения, сформированные со временем на основе конкретных воспоминаний, которые будут находить отражение в каждом отдельном моменте субъективного опыта.

Мы уже выяснили, что субъективный чувственный опыт зависит от личных ассоциаций и воспоминаний и, таким образом, от уникальных эмоциональных состояний. Но вы обычно не осознаете этого. Иными словами, самосознание не является постоянным. Поэтому нам еще нужно разобраться, как самосознание взрослого будет отличаться от, скажем, субъективного сознания младенца, который, тем не менее, не понимает, что он младенец.

Одна из идей заключается в том, что самосознание отличается от других обычных состояний мозга, поскольку оно «информирует действующее лицо о своих внутренних состояниях». Конечно, эта теория основана на наивном допущении,<sup>[217]</sup> будто в мозге есть какой-то сторонний наблюдатель. Эта идея не особенно полезна для понимания того, что происходит в мозге. Другая, менее расплывчатая теория – это тезис о радикальной пластичности. Здесь идея заключается в том, что именно процесс самообучения делает нас сознательными: мозг не только анализирует информацию о внешнем мире, но и имеет свои собственные представления о себе, известные как метапредставления. Однако тезис о радикальной пластичности приводит своего автора к заключению: «Причина в том, что субъект осознает, что он осознает, что он сознателен!»

Это не особенно информативный вывод, и, кроме того, он не универсален, поскольку даже младенцы, по-видимому, обладают сознанием, но не самосознанием – что же говорить о животных. Впрочем, эти теории могут быть семантически полезны для разграничения самосознания и сознания. Нерешенным этот вопрос пока остается с точки зрения физического мозга.

Один из возможных ответов заключается в том, что разница не столько качественная, сколько количественная. Тем не менее перед нами встают некоторые неудобные вопросы: почему нейронные ансамбли больших размеров приобретают функциональное свойство – метапрезентацию? Впрочем, сам факт уже многое объясняет. Например, почему почти все животные (за исключением, возможно, высших приматов) не обладают самосознанием, подобным человеческому? Другие теории самосознания не учитывают такие нюансы.

Индивидуальность – явление, которое еще более сложно для понимания с точки зрения мозга. Должны существовать дополнительные критерии, чтобы отграничить самосознание от этого особого свойства, – и это подводит нас к третьему критерию. В различных жизненных ситуациях вы будете поступать тем или иным образом, определяемым не только вашими собственными убеждениями, вашим самосознанием, но и контекстом, преобладающим в этот конкретный момент, – преобладающей ролью, которую вы сейчас играете, – ролью члена семьи, спортивной команды или рабочего коллектива.

Ваши действия могут иметь положительные или негативные последствия и, кроме того, провоцируют реакцию со стороны других людей, что, в свою очередь, вносит вклад в ваш индивидуальный опыт, влияя на ваше поведение в будущем. Это четвертый пункт нашего списка. В конце концов мы переходим к пятой ступени: полученный опыт становится частью вашей уникальной истории. Именно осознание уникальности собственного жизненного пути порождает явление индивидуальности.

Итак, для того, чтобы обладать чувством специфической самоидентичности, вам нужно поместить себя в контекст (третий критерий), оценить реакции (четвертый критерий) и применить эти действия и реакции к еще более широкому контексту (пятый критерий).

Эти итерации взаимосвязей контекста, поведения и полученного опыта основаны на все более сложных нейрональных взаимодействиях. Таким образом, мы могли бы представить себе, как камень становится крупнее, а рябь на водной глади – обширнее, что соответствует все более глубокой осознанности.

Одним из следствий ощущения собственной индивидуальности

является способность к самовыражению в форме творчества. Говоря словами Альберта Эйнштейна, «важно развивать индивидуальность, поскольку только индивидуум способен создавать новые идеи». Что ж, давайте вернемся к контексту офиса. Творчество и творческое мышление являются «фишкой» разнообразных организаций. Однако этот ресурс нельзя просто так купить. Это стимулирует работодателей создавать для сотрудников условия, позволяющие чувствовать себя комфортно, «быть собой».

Здесь важно удачно обыграть пространство. Современные тенденции в дизайне офисных помещений смещаются в сторону поощрения «игры», «спонтанности» и «творчества».<sup>[218]</sup> Но по результатам ряда независимых исследований около половины сотрудников выражают некоторую степень цинизма в отношении данной инициативы, и нет явных свидетельств ее эффективности.<sup>[219]</sup>

Это может показаться неожиданным, но одним из факторов, стимулирующих творчество, является скука. В рамках недавней конференции Британского общества психологов Сэнди Манн поднял интересный вопрос, который поставил под сомнение значимость межличностных взаимодействий для творчества.<sup>[220]</sup> Он провел два эксперимента: одна группа испытуемых занималась переписыванием номеров из телефонного справочника, после чего исследователи оценивали творческие способности участников эксперимента. Им было предложено придумать как можно больше вариантов применения для кубиков из полистирола. Контрольная группа подверглась творческому испытанию без скучной преамбулы. Интересно то, что участники, которые переписывали телефонные номера, в целом лучше справлялись с тестом на креативность. Это можно объяснить тем, что монотонная деятельность позволяет уму «блуждать», настраивая на творческий лад.

Для подтверждения этой идеи был проведен второй эксперимент, в котором несчастные добровольцы просто читали цифры из телефонной книги: обоснование заключалось в том, что выполнение такой предельно скучной задачи не требует вдумчивости. Затем результаты тестирования этой группы сравнили с результатами тех, кто переписывал телефонные номера, а также с контрольной группой. Теперь участники эксперимента, которые читали цифры, продемонстрировали более впечатляющие результаты, чем те, кто их переписывал, а они, в свою очередь, оказались креативнее участников из контрольной группы. Это увлекательное наблюдение доказывает, что виды деятельности, явным образом

стимулирующие творческое мышление, – те, которые не требуют быстрых осознанных реакций, они скорее монотонны и позволяют разуму блуждать.

## Теория творчества

Интересно, что еще одно недавнее исследование показало, что прогулки на свежем воздухе также способствуют увеличению творческого потенциала.<sup>[221]</sup> В конце концов, согласно популярному клише, в поисках новых идей порой достаточно заглянуть в себя. Трудно представить более подходящую для этого обстановку, чем прогулка в уединенном месте. Итак, давайте предположим, что вы обладаете чувством собственной индивидуальности и находитесь в среде, свободной от ограничений как во времени, так и в пространстве. Как же рождается творчество?

Повторимся, что использование уникальных нейронных связей позволяет вашему мозгу выводить восприятие за пределы номинальных смыслов. Помните обручальное кольцо, которое может иметь огромное значение для любящего супруга и в то же время быть просто симпатичной безделушкой для ребенка? Ваша индивидуальность позволяет вам наделять вещи смыслами, которые невозможно было бы вывести из одних лишь сенсорных свойств объектов. Иногда мы создаем неуместные или преувеличенные ассоциации, наделяя объект свойствами, которые большинство других людей сочло бы неправдоподобными, а может быть, даже немного безумными. Угадывание силуэтов животных в кучевых облаках или приписывание носкам свойства «приносить удачу» являются повседневными примерами таких своеобразных, надуманных ассоциаций. Точно так же связывание двух разрозненных событий для одних может показаться глупым суеверием, а для других – несомненным и глубоко значимым предзнаменованием.

Однако маленький ребенок или взрослый человек, страдающий деменцией, будет находиться во власти сиюминутного сенсорного опыта: как следствие, неожиданные и непонятные явления могут вызывать испуг, дезориентацию или смущение. Так как персонализированные нейронные связи являются физической основой нашей индивидуальности, которая, в свою очередь, оказывается необходимым условием для творчества, мы можем постараться разработать теорию о том, как достигается это наивысшее проявление индивидуальности. Для начала мы можем выделить три этапа в творческом процессе и рассмотреть каждый из них с точки зрения нейронауки.

Разберем первый этап. Существенной особенностью творчества является противостояние привычному, будь то расположение носа на лице в

творчестве Пикассо, переднее расположение двигателя в автомобиле, изобретенное Робертом Швенке, или новаторская теория Барри Маршалла о причинах возникновения язвы желудка.<sup>[222]</sup> В физическом выражении этот процесс будет включать ингибирование или замену уже существующих связей между клетками мозга.

Второй этап – создание новых ассоциаций. Вся творческая работа, будь то художественная, научная или прикладная, предполагает объединение различных элементов в непривычной форме или неожиданное сопоставление фактов, порождающее новые теории. Этот этап необходим, но на деле оказывается недостаточным. Просто подумайте о детском рисунке или стихотворении больного шизофренией,<sup>[223]</sup> которые являются примерами необычного использования комбинаций форм и слов, но не отражают истинной оригинальности взглядов и творческого мышления.

Заключительным и самым важным этапом будет воплощение идеи в форме, доступной для восприятия других людей. Будь то музыкальное произведение или научная теория, результат должен отражать идею без искажений: новая ассоциация между нейронами должна стимулировать дальнейшие ассоциации и связи, которые и придают работе смысл.

Все три вышеописанных этапа основаны на одной важной предпосылке – уверенности. Ведь только с уверенностью приходит ощущение благополучия, которое позволяет нам наслаждаться возможностью быть собой.

Очевидно, что рабочая среда имеет огромное значение для ощущения личного благополучия, и складывается оно из цветовой палитры помещения, планировки, вида из окна (как мы выяснили в главе 3, ландшафт может помочь мыслить ясно и креативно). Кроме того, важна возможность спонтанных встреч, прогулок, наличие персональных и общественных зон. Наконец, важно поддержание как идеологии бренда, так и индивидуальности каждого из сотрудников. Только когда человек чувствует себя достаточно уверенно и раскованно, он может быть открыт для творчества.

Во время творческого процесса ментальные камни будут падать в воду не слишком часто, но рябь от падений будет расходиться широко. Скорее, эффект будет обусловлен большими размерами этих камней – многочисленными нейронными соединениями, которые, в свою очередь, регулируют ваше сознательное поведение, оценивают причинно-следственные связи. Уровень вашего возбуждения не будет чрезмерно повышенным, но в то же время вы не погрузитесь в сон – напротив, ваше

сознание будет предельно углублено. Идеальный баланс между умеренным сенсорным восприятием и внутренними когнитивными процессами позволит вам если не сформулировать новую идею, то, по крайней мере, направить мышление в продуктивное русло. Например так, как сейчас.

А рабочий день тем временем подошел к концу. Вы смотрите на безупречно белые стены, окно, выходящее на автостоянку, невыразительный бежевый ковер и, наконец, на компьютер, экран которого давно погас. Сегодня вы, говоря откровенно, не были креативным, а тем более продуктивными. Смогли бы вы лучше реализовать свой потенциал в других условиях? Возможно. А сейчас ваш взгляд обращен на фотографию семьи: ваши жена, ребенок, теща и пес Бобо, застывшие во времени, пытаются выглядеть веселыми, но им это не слишком удается. Возможно, сейчас они с нетерпением ждут вас дома. Хотя кто знает. В любом случае, вы уже надеваете пальто.

## Проблемы дома

На самом деле идея провести время с семьей теперь манит. И все же вы размышляете о возвращении со смешанными чувствами. Честно говоря, вы не уверены, что вечер пройдет гладко. Ваш четырнадцатилетний сын Джек в последнее время ведет себя странно. Он больше не похож на того веселого, любознательного, ласкового мальчика, которым был еще недавно. Теперь, возвращаясь из школы, он тут же уходит в свою комнату. Он совершенно не участвует в беседах за ужином и большую часть времени проводит, уткнувшись в смартфон. Вас беспокоит, что теперь вы часто ощущаете запах сигаретного дыма от его одежды, и, учитывая то, как мало времени он проводит дома, вы подозреваете, что он, возможно, употребляет алкоголь или даже наркотики. Почему он, как и многие его друзья, стал таким трудным? Подростковый возраст.

## Подростковый возраст

Юность – время массовых психологических и физиологических трансформаций. Личные отношения приобретают огромное значение, возникает потребность в расширении круга общения, в завоевании внимания и получении новых ярких впечатлений. Часто это сопряжено со склонностью к риску, эмоциональной нестабильностью, импульсивностью и безрассудством.<sup>[224]</sup> На этот счет существует любопытная теория – «теория нечеткого следа», которая утверждает, что, вопреки общепринятому мнению, подростки проводят более точный анализ соотношений риска и пользы, чем взрослые.<sup>[225]</sup> Принципиальное различие заключается в том, что взрослые не склонны пренебрегать рисками, независимо от потенциальной выгоды. Более зрелый индивидуум предпочитает строить долгосрочные прогнозы, а не просто реагировать на текущую ситуацию.

Изменения в когнитивной и эмоциональной обработке в подростковом возрасте, по-видимому, отражают постепенное улучшение функционирования префронтальной коры,<sup>[226]</sup> которая, как понятно из названия, располагается в передней части мозга и составляет значительную долю его общей поверхности. Префронтальная кора является наглядным примером того, как этапы эволюции человека (филогенеза) находят отражение в индивидуальном развитии (онтогенезе). Соответственно, эта область хорошо развита только у высших приматов (составляя 33 % человеческого мозга и только 17 % мозга шимпанзе)<sup>[227]</sup> и полностью реализует свой потенциал лишь к концу подросткового возраста.<sup>[228]</sup>

Более того, поскольку она взаимодействует через обширные нейронные сети с другими зонами мозга,<sup>[229]</sup> возможно, больше, чем любая другая область, префронтальная кора несет также и координирующую функцию. Особенно выразительным свойством подросткового мозга является то, что широко распространяющееся возбуждение обычно не связано напрямую с выполнением конкретных задач, как если бы случайные и разрозненные мысли просто проносились в уме. Это позволяет нам предполагать, что по мере взросления наш мозг учится управлять более организованным набором сетей, повышая эффективность обработки.<sup>[230]</sup>

Но не все области мозга созревают одновременно. И это может

объяснять типичное для подростков стремление к социализации, но в то же время отсутствие сдержанности в поведении. Области мозга, расположенные глубоко под корой, развиваются значительно раньше. Все еще малоактивная префронтальная кора не способна тормозить импульсы, зарождающиеся в более примитивных областях. Более того, именно на этой стадии развития выявляется пик активности дофамина,<sup>[231]</sup> который частично ингибирует и без того незрелую префронтальную кору.<sup>[232]</sup>

Другой особенностью химического ландшафта подросткового мозга является всплеск уровня окситоцина, гормона, тесно связанного с эмоциональной привязанностью.<sup>[233]</sup> Этот нейрохимический коктейль дофамина и окситоцина обуславливает стремление к рискованному поведению.<sup>[234]</sup>

Иногда такое положение вещей может сохраняться во взрослой жизни, а именно у пациентов с шизофренией. Шизофрения представляет собой сложное психическое состояние, которое предполагает драматический отход от нормального восприятия реальности. В этой книге нет места для углубленного изучения этого любопытного состояния, но все же стоит рассмотреть его кратко. К основным особенностям шизофрении относятся неспособность к длительной фокусировке внимания, неупорядоченность логики, использование необычных фигур речи и образов, неспособность интерпретировать пословицы.<sup>[235]</sup>

Больные шизофренией более восприимчивы к любым воздействиям из внешнего мира по сравнению с «нормальными» взрослыми, вплоть до ощущения его враждебности или убеждения, что другие люди могут слышать их мысли. Ощущения остаются чрезмерно доминирующими, в то время как индивидуальные ассоциации и интерпретации отходят на второй план, оказываясь гораздо более хрупкими и своеобразными.

Детей и шизофреников легко захватывает русло событий, происходящих непосредственно вокруг. Это знает любой родитель – ребенка, который плачет из-за упавшего на тротуар мороженого, можно тут же заставить улыбнуться, переключив его внимание на птичку или пролетающий над головой самолет. Между тем при шизофрении поведенческие реакции показывают, что эта склонность к смещению внимания продолжается и в старшем возрасте. В одном эксперименте группе пациентов, наряду со здоровой контрольной группой, было предложено выполнить простую задачу классификации заглавных букв и цифр, игнорируя фоновые слуховые раздражители. По сравнению с контрольной группой больные шизофренией продемонстрировали больший

уровень смещения внимания, поэтому им требовалось больше времени для выполнения задачи.<sup>[236]</sup>

Другая параллель заключается в том, что ни дети, ни шизофреники не способны интерпретировать пословицы. На просьбу объяснить идиому: «Тот, кто живет в стеклянном доме, не должен бросаться камнями» типичный ответ от человека, страдающего шизофренией, может быть чем-то вроде: «Если вы живете в стеклянном доме, а я брошу в него камень, ваш дом сломается». Аналогичным образом, ребенок воспринимает мир буквально, в номинальном значении явлений.

Маленькие мальчик или девочка, которым не рекомендуют «плакать о пролитом молоке», могут проявлять искреннее удивление и непонимание в отсутствие опрокинутого стакана. Главная проблема детей и больных шизофренией заключается в неспособности к обобщению. Хотя у детей формирование связей, лежащих в основе когнитивных концептуальных структур, попросту еще не завершено, у шизофреников тот же конечный результат может возникать по разным причинам. Одной из характерных особенностей шизофрении<sup>[237]</sup> является то, что, помимо других нарушений, в мозге регистрируется функциональный избыток дофамина.<sup>[238]</sup> Высокие уровни дофамина могут подавлять работу префронтальной коры, выступая в роли ингибитора,<sup>[239]</sup> и тем самым снижать устойчивость внутренних когнитивных процессов, что объясняет чрезмерное акцентирование внимания на внешних раздражителях. Другая тенденция, которая, скорее всего, связана с их недостаточной активностью префронтальной коры,<sup>[240]</sup> состоит в том, что и дети, и больные шизофренией более капризны и безрассудны, чем среднестатистические взрослые.<sup>[241]</sup>

Интересно, что есть и третья, совершенно неожиданная категория людей с недостаточной активностью префронтальной коры, которым так же присуще безрассудное поведение:<sup>[242]</sup> люди с патологически высоким индексом массы тела (ИМТ), то есть с тяжелым ожирением.<sup>[243]</sup> В этом случае, как в детстве или при шизофрении, сенсорное удовлетворение может превосходить по значимости долгосрочные последствия. В конце концов, любой, кто с наслаждением поглощает кремовый торт или другое калорийное лакомство, обычно хорошо осведомлен о последствиях для талии, но непосредственное удовольствие от процесса перевешивает разумные доводы. Наконец, давайте посмотрим на азартных игроков: и снова префронтальная активность снижена у тех, кто живет ради острых ощущений, испытывая восторг и предвкушение, когда вращается колесо рулетки, гремят игральные кости или выбранная скаковая лошадь только

начинает опережать другую. [\[244\]](#)

Но означает ли это, что префронтальная кора – своего рода центр управления? Краткий ответ – нет. Ее следует воспринимать не столько как босса, сколько как посредника. Мы уже выяснили, что ключевой особенностью префронтальной коры является то, что она вносит наибольший вклад в регуляцию взаимодействий других областей мозга и поэтому играет ключевую роль в координации когнитивных процессов. [\[245\]](#)

Сильная, сырая сенсорная стимуляция, еще не наделенная персонализированным значением, – это сравнительно небольшой ментальный камень. Сила броска окажется пропорциональной громкости звука, яркости цвета, интенсивности запаха, скорости вращения колеса рулетки. И конкуренция с другими такими камнями будет высокой: быстро сменяющиеся друг друга стимулы не позволят вновь возникающим кругам на воде распространяться достаточно далеко. Наконец, драматичности добавит повышенная концентрация дофамина, определяющая вязкость среды нашего водоема и тормозящая префронтальную кору. Для такого состояния будут характерны небольшие размеры нейронных ансамблей, коррелирующие с восприимчивостью к сырым ощущениям в ущерб когнитивным процессам. Эти два основных режима приведены в таблице ниже. [\[246\]](#)

<b>БЕССМЫСЛЕННОЕ</b>	<b>ЗНАЧИМОЕ</b>
Сенсационное	Когнитивное
Доминирование сырых ощущений	Доминирование смысла
Мгновенное	Долгосрочное
Универсальное значение	Персонализированное значение
Отсутствие элемента самосознания	Ясность самосознания
Отсутствие временных или пространственных рамок	Четкая, последовательная эпизодичность
Дети, больные шизофренией, азартные игроки, обладатели высокого ИМТ, наркоманы	Здоровые взрослые
Повышенный уровень дофамина	Нормальный уровень дофамина
Пониженная активность префронтальной коры	Нормальная активность префронтальной коры
Значимость внешних стимулов	Значимость внутренних мотивов
<b>СОЗНАНИЕ КОРРЕЛИРУЕТ С НЕЙРОННЫМИ АНСАМБЛЯМИ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ</b>	<b>СОЗНАНИЕ КОРРЕЛИРУЕТ С НЕЙРОННЫМИ АНСАМБЛЯМИ БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ</b>

Нынешняя реальность такова, что прежний баланс между бессмысленным и значимым теперь, кажется, смещается в одну сторону. В недавно проведенном опросе было показано, что в возрастной группе от 13 до 18 лет ежедневное использование цифровых технологий и средств массовой коммуникации составляет, в среднем, 11, 5 часа в день. И, вероятно, эта цифра приблизится к 18 при учете многозадачности.<sup>[247]</sup> Из этого следует, что если окружающая среда так стремительно

трансформируется в высокоинтерактивное двумерное пространство зрительных и звуковых потоков, мозг будет адаптироваться к этим трансформациям. Но кто знает, к каким последствиям это может привести. [\[248\]](#)

Что вызывает наибольшее беспокойство, так это то, что, согласно последним данным, видеоигры, [\[249\]](#) а также социальные сети [\[250\]](#) стимулируют усиленное высвобождение дофамина в головном мозге. Этот процесс подобен тому, который наблюдается у наркоманов, и связан с аномальной деятельностью префронтальной коры. [\[251\]](#) По-видимому, виртуальная жизнь, ставшая приоритетной для людей, рожденных в эпоху интернета, еще больше искажает вековой баланс между бессмысленным и значимым. Нескончаемые потоки информации склоняют к переходу от когнитивного к сенсационному режиму восприятия, не свойственному старшим поколениям. [\[252\]](#) Неудивительно, что вам так сложно найти общий язык с Джеком...

## Депрессия

Если Джек слишком увлечен взаимодействием с внешним миром, то у вашей жены Джейн есть противоположная проблема. По какой-то причине в последнее время она чрезмерно погружена в себя. Она больше не ходит в спортзал и, проводя большую часть дня в постели, всегда выглядит усталой. Иногда Джейн даже забывает поесть, не говоря уже о том, что ее больше не заботит порядок в доме и собственная внешность. Все это отнимает у нее слишком много сил, и по вечерам она просто сворачивается клубочком под одеялом и тихо плачет, казалось бы, без всякой причины. Вы уже не помните, когда в последний раз слышали ее смех.

Ангедония (буквально «неспособность испытывать удовольствие») является классическим симптомом клинической депрессии. Человек может ощущать «эмоциональное онемение» и быть равнодушным, скажем, к красоте заката. Постоянное состояние подавленности и усталости заставляет избегать повседневных забот. Внешний мир кажется серым и унылым. Что является причиной, а что следствием – это вопрос о курице и яйце. В любом случае сценарии не обязательно окажутся взаимоисключающими.

У людей, находящихся в депрессии, наблюдается сдвиг во всей химии головного мозга, в частности это касается модулирующего химического семейства аминов – дофамина, норадреналина и серотонина, которые оказывают влияние на уровни возбуждения и определяют метафорическую вязкость воды в водоеме. Пациентам с депрессией обычно назначают тот или иной «селективный ингибитор повторного поглощения серотонина» (SSRI), то есть препарат, который повышает доступность серотонина. Методика лечения антидепрессантами имеет довольно длинную историю, и, как это часто бывает, началась она со случайных наблюдений.

В 1950-е годы для лечения повышенного артериального давления широко использовался препарат под названием «резерпин».<sup>[253]</sup> Так как норадреналин и его близнец адреналин активируют механизм «бей или беги» за счет увеличения частоты сердечных сокращений и повышения артериального давления, препарат, который снижает доступность норадреналина, должен оказывать терапевтический эффект у пациентов с гипертонической болезнью. Резерпин действительно вызывал желаемое снижение артериального давления и частоты сердечных сокращений. Однако вскоре стал очевидным страшный побочный эффект: прежде

психически здоровые пациенты становились подавленными, иногда доходя до состояний, граничащих с суицидальными.<sup>[254]</sup>

Между тем одним из наиболее распространенных и опасных для жизни заболеваний в то время был туберкулез. Для лечения использовали ипрониазид, который максимально эффективно подавлял жизнедеятельность особенно вирулентного штамма бактерии-возбудителя.<sup>[255]</sup> Помимо этого, ипрониазид увеличивает доступность дофамина, норадреналина и серотонина, блокируя работу фермента (моноаминоксидазы), который обычно деактивирует эти нейротрансмиттеры, поэтому он известен как ингибитор моноаминоксидазы (МАОI). Однако, опять же, возник непредвиденный побочный эффект: больные туберкулезом стали на удивление эйфоричными не только потому, что оправлялись от серьезной болезни, но и непосредственно от воздействия лекарственного средства.<sup>[256]</sup>

Сопоставление этих двух наблюдений породило совершенно новую теорию. Если препарат, такой как резерпин, который снижает уровень аминов, вызывает у людей депрессию, а другой препарат, такой как ипрониазид, который увеличивает доступность этих же аминов, делает людей эйфоричными, то очевидно, что изменение уровней аминов имеет прямое отношение к изменениям в настроении. Так родилась «аминовая теория депрессии»: если уровни функционально доступных аминов высоки, будет наблюдаться приподнятое настроение. Однако если уровни аномально низки, клиническая депрессия выступит феноменологическим следствием.<sup>[257]</sup>

Тем не менее в этой теории есть нюансы. Например, мы знаем, что существует терапевтическая временная задержка – явный положительный эффект наблюдается лишь спустя 10 дней после начала лечения.<sup>[258]</sup> Таким образом, речь идет не только об одном лишь повышении уровня серотонина, но и о более долгосрочных эффектах. Возможно, целевым рецепторам серотонина требуется время для повторной калибровки их ответа на изменение уровня модулятора; другая, но не противоречащая идея заключается в том, что индуцированное лекарством повышение уровня аминов запускает репаративный механизм в мозге. Так что помимо «восходящих» химических и синаптических факторов в игру вступают когнитивные «нисходящие».

В то же время естественная пластичность мозга также может быть использована для коррекции настроения без каких-либо лекарственных препаратов. Например, психотерапевтический подход когнитивной

поведенческой терапии к лечению депрессии оказался особенно успешным в последние годы.<sup>[259]</sup> Как следует из названия, в нем не используется медикаментозное лечение. Вместо этого терапевт помогает пациенту увидеть мир с другой точки зрения посредством диалога. Одним из способов интерпретации в нейрофизиологических терминах было бы рассмотрение этого метода как эффективной формы стимуляции синаптической пластичности, при которой нейронные соединения перестраиваются таким образом, чтобы помочь пациенту увидеть мир с лучших сторон.

Чем больше мы будем взаимодействовать с окружающей средой, тем подвижнее и разнообразнее будут нейронные связи. Однако люди с клинической депрессией избегают контактов с внешним миром, и в том числе физических нагрузок. Поэтому у них, вероятно, будет меньше оснований для ускорений сердечного ритма, и поэтому уровни аминов будут перманентно сниженными. Замечательное открытие состоит в том, что у пациентов с депрессией также наблюдается снижение темпов производства новых клеток головного мозга – нейрогенеза, который мы обсуждали ранее, в главе 3. Но нейрогенез может усиливаться в условиях обогащенной среды и при добровольных физических упражнениях, что, в свою очередь, положительно влияет на пластичность.<sup>[260]</sup> При этом усиливается восприимчивость к новым стимулам и переживаниям, повышается уровень аминов и, как результат, возвращается бодрое и приподнятое настроение.

Теперь посмотрим, как будут вести себя нейронные ансамбли в депрессивном мозге. Представьте, что индивидуум отстраняется от повседневных забот, избегает физической активности, большую часть дня проводит под одеялом или, по крайней мере, меньше времени взаимодействует с внешним миром. Мозг не получает достаточной стимуляции для формирования нового опыта. Существующие нейронные соединения будут сохраняться и усиливаться. Более того, мозг не сможет располагать необходимым количеством модуляторов, чтобы помочь самому себе и простимулировать формирование новых ансамблей. Если, кроме того, индивидуум постоянно фокусируется на своем состоянии, то площадь охвата ансамбля будет нарастать, не встречая конкуренции. Итак, может ли клиническая депрессия соотноситься с необычно большими размерами нейронных ансамблей?

«Неосознанное» состояние малых ансамблей, которое соотносится с низкой активностью префронтальной коры, явно контрастирует с

ситуацией при депрессии, когда префронтальная кора становится чрезмерно активной.<sup>[261]</sup> Кроме того, аномально маленькие ансамбли при получении сенсорного опыта формируются в условиях высокого уровня дофамина, который, наряду с его химическими собратьями, как мы уже видели, при клинической депрессии оказывается в дефиците. Наконец, одна из причин формирования малых ансамблей заключалась в высокой конкуренции со стороны новых ансамблей, возникающих в силу интенсивного взаимодействия с внешним миром – в противоположность состоянию депрессии, при котором человек намеренно избегает контактов с ним.

Если необычно большие размеры нейронных ансамблей коррелируют с депрессией, это позволяет объяснить эффективность электросудорожной шоковой терапии, при которой эпилептиформный судорожный припадок вызывается пропусканием электрического тока через головной мозг пациента.<sup>[262]</sup> Хотя на лицо грубость и неспецифичность метода, он часто оказывается эффективным, даже если все другие виды лечения потерпели неудачу. Возможно, электрический ток нарушает структуру нейронной сети, тем самым облегчая формирование новых и более разнообразных соединений. Это своего рода принудительная пластичность.

Идея о том, что депрессия может быть связана с аномально большими ансамблями, так же хорошо вписывается в еще одну клиническую загадку – успех применения лития при лечении биполярного расстройства, при котором пациент испытывает чрезмерные колебания настроения в диапазоне от глубокой депрессии до эйфории и мании.<sup>[263]</sup> Одно из возможных объяснений состоит в том, что литий является близким соседом натрия в периодической таблице элементов. Это означает что он может действовать в мозге как химический двойник, заменяя ионы натрия. Как известно, приток ионов натрия внутрь нейрона через клеточную мембрану инициирует потенциал действия. Литий может конкурировать с натрием, проходя через натриевый ионный канал,<sup>[264]</sup> но, оказавшись внутри нейрона, он не способен выполнить функцию натрия – потенциал действия не возникнет.

Кажется удивительным, что этот элементарный трюк эффективен для подавления такого комплексного и сложного состояния, как биполярное расстройство. Фаза мании является полной противоположностью депрессии: она характеризуется гиперактивностью и импульсивным поведением, неспособностью к удержанию внимания – в сущности, это тот же режим малых ансамблей, приписываемый ребенку или шизофренику.

[265] Активность префронтальной коры у пациентов с биполярным расстройством так же снижена. [266] Итак, если маниакальная фаза биполярного расстройства может быть интерпретирована с точки зрения аномально малых размеров ансамблей и если применение лития препятствует работе основного механизма нейронной активности, то, возможно, терапевтический эффект достигается за счет подавления чрезмерной конкуренции вновь возникающих нейронных ансамблей, которая характеризует специфическое мышление ребенка, шизофреника или маниакальную фазу биполярного расстройства. Словом, литий будет стабилизировать генерацию ансамблей, действуя подобно ручному тормозу.

Но есть один нюанс: принцип ручного тормоза применим только к мании и неэффективен в депрессивной фазе биполярного расстройства и в классической депрессии. [267] Или все-таки эффективен?.. Одна из идей состоит в том, что ключевое действие лития заключается в стабилизации нейронной активности и приведении ее к норме. Отсюда отсутствие какого-либо эффекта у здоровых людей с нормальным режимом нейронных ансамблей и у пациентов, достаточно долго пребывающих в состоянии депрессии, – с уже сформировавшимися аномально крупными и стабильными ансамблями. Но в то время как ансамбли активно формируются, как в случае мании, или расширяются, как в начальной стадии депрессии, иными словами, когда наблюдается повышенная активность, применение лития, напротив, может оказаться наиболее эффективным.

## Боль

Еще одно сходство между шизофренией и манией кроется в уровне чувствительности к боли. У пациентов с данными расстройствами болевой порог находится выше среднего значения.<sup>[268]</sup> То есть они менее восприимчивы к боли в противоположность пациентам с клинической депрессией,<sup>[269]</sup> для которых характерно снижение болевого порога: они ощущают боль ярче. Это состояние, известное как гипералгезия.<sup>[270]</sup>

Таким образом, если депрессия коррелирует с необычайно большими размерами нейронных ансамблей и если такому состоянию, в свою очередь, сопутствует повышенная восприимчивость к боли, то может ли существовать связь между размерами нейронных ансамблей и субъективным восприятием боли? Есть несколько аргументов в пользу этого предположения. Один из них состоит в том, что боль выражается в виде разнообразных ассоциаций: ощущения можно охарактеризовать как «колющие», «жгучие», «сдавливающие», – эти ассоциации обеспечиваются обширными нейронными связями.<sup>[271]</sup> Кроме того, порог боли неодинаков даже у одного и того же человека, скажем, в течение суток. Это наглядно демонстрируют результаты эксперимента, в котором осуществлялось воздействие электрическим током на зубы здоровых добровольцев. Установлено, что большинство людей легче переносят боль в середине дня.<sup>[272]</sup> Колебания болевого порога могут быть связаны с модулирующим эффектом аминов, интенсивность выделения которых неодинакова в разное время суток. И наконец, существует еще один немаловажный аспект восприятия боли – предвкушение боли усиливает ее.<sup>[273]</sup> Это происходит, предположительно, потому, что расширение временных рамок дает возможность для формирования нейронного ансамбля больших размеров.

Еще одна причина появления аномально крупных ансамблей кроется в феномене «фантомной боли конечностей»,<sup>[274]</sup> когда после ампутации у пациента сохраняются ощущения в отсутствующей руке или ноге. В связи с этим много лет назад физиологи Рональд Мельзак и Патрик Волл разработали понятие «болевого матрицы». На сегодняшний день можно утверждать, что оно связано с механизмом сборки ансамблей. Если не формируется правильная обратная связь с конечностью (потому что ее больше нет), нейроны получают чрезмерную стимуляцию, что приводит к формированию ансамблей больших размеров, – следовательно, усиливается

ощущение боли.<sup>[275]</sup>

Морфин, применяющийся как обезболивающее средство, вызывает эйфорию и эффект отстраненности. По словам пациентов, под его воздействием они все еще чувствуют боль, но это уже не кажется важным для них.<sup>[276]</sup> Известно, что морфин действует как блокатор, аналогично синтезируемым в организме природным опиатам, таким как энкефалин, и способен «тормозить» нейронную активность, постепенно уменьшая размеры ансамблей.<sup>[277]</sup> Это согласуется с тем обстоятельством, что у пациентов с шизофренией при малых размерах нейронных ансамблей наблюдается снижение чувствительности к боли.<sup>[278]</sup>

Кроме того, в главе 2 мы видели, что, вне зависимости от химической структуры и клеточных механизмов действия, все анестетики объединяет конечный результат их применения – уменьшение размеров нейронных ансамблей.

Здесь возникает интересный парадокс. При медленном наступлении анестезии перед потерей сознания вы можете испытать чувство эйфории. Это, конечно, кажется странным, но тому есть фактическое подтверждение. В прежние времена, когда анестезия не была столь эффективна, как сейчас, во время операции под воздействием препарата пациенты часто пребывали в состоянии эйфории. Это повлекло за собой бум «эфирных махинаций» – например, закись азота нередко применялась для достижения наркотического опьянения. В наше время препарат кетамин, мощный анестетик, часто используется в малых дозах как рекреационный наркотик.

При сравнении субъективных свойств больших и малых размеров ансамблей просматривается более общий принцип. Депрессивные пациенты, как правило, испытывают ощущение эмоционального «онемения». Между тем дети, страдающие манией, наркозависимые и больные шизофренией испытывают сильные эмоции – как положительные, так и отрицательные. Эти закономерности логически приводят к выдвиганию следующей гипотезы: чем более обширен нейронный ансамбль, тем слабее эмоции. По этой причине эмоции претендуют на роль базового элемента сознания. Достаточно лишь подумать о собаке, виляющей хвостом, о смеющемся ребенке, чтобы убедиться.

Теперь, глядя сквозь призму нейронауки, мы можем интерпретировать клиническую депрессию как признак наличия необычайно крупных нейронных ансамблей. Активность в некой области мозга будет расширяться подобно тому, как расходятся круги отброшенного в воду камня. Кроме того, этому усилению расширению могла бы

благоприятствовать сверхактивная префронтальная кора. Не будет отвлекающих факторов из внешнего мира – никакие другие камни не будут возмущать воду, а значит, чувства окажутся приглушенными, поскольку возбуждение снизится, снизится интенсивность выделения аминов. И в то время как бездеятельность и отказ от взаимодействий с внешним миром являются типичными симптомами депрессии, они могут также служить ее первопричиной.

У пожилых людей депрессия и отсутствие взаимодействий с внешним миром могут быть особенно выраженными. В ходе изучения когнитивных функций пожилых людей с нормальным интеллектом исследователи выяснили, что социально активные пожилые люди лучше справляются с когнитивными тестами. Один из способов выявить эту корреляцию у здоровых пожилых людей – оценка соотношения между образом жизни и «когнитивным резервом» – возможностями мозга создавать и использовать концептуальные связи по мере старения. Пожалуй, неудивительно, что активная интеллектуальная и социальная деятельность сопряжена с меньшим количеством когнитивных нарушений, ведь мозг получает стимул поддерживать существующие связи, которые при длительном бездействии могут разрушиться. При этом увеличивается плотность синаптических контактов в головном мозге, что, в свою очередь, повышает эффективность передачи сигналов от интактных нейронов. В другом исследовании проводилось сканирование мозга участников интенсивной восьминедельной программы тренировки памяти до и после ее прохождения. Исследователи обнаружили, что по окончании программы активность и даже толщина коры головного мозга увеличились, что является весьма обнадеживающим свидетельством сохранения способности мозга к пластичности даже в старости. Большее количество переживаний идет мозгу на пользу благодаря его постоянной адаптации, развитию способности видеть одну вещь с различных точек зрения, что отражает мудрость, которую мы привыкли ассоциировать с преклонным возрастом.

Теперь, однако, представим сценарий, предусмотренный в главе 2: зрелый мозг, в котором сформированы индивидуальные связи, включенные в его отлаженную работу. Эти связи сформированы и усилены путем усвоения опыта, которого никто больше никогда не имел и никогда не будет иметь: уникальный индивидуальный ум. Затем представим, что эти индивидуальные соединения медленно демонтируются, отмирают. Потенциальные камни, которые можно бросить в воду, будут сведены к простой гальке. Человек снова станет подобен ребенку, поскольку он не

сможет больше иметь в своем распоряжении опыт взрослого. Люди, объекты, закономерности больше не будут нести персонализированное значение. И тут мы увидим печальные и трагические симптомы болезни Альцгеймера – формы деменции, при которой пациент буквально «теряет рассудок».

## Деменция

Несколько месяцев назад Джейн настояла на том, чтобы ее мать Дейзи переехала к вам. Дело в том, что врач выявил у Дейзи признаки деменции. Симптомы оказались настолько же масштабны, насколько и разрушительны. Они группируются по трем основным категориям. Когнитивные симптомы можно охарактеризовать как проблемы с памятью, неспособность усваивать новую информацию и самостоятельно решать даже повседневные задачи. Дейзи часто путает имена и места, недавно она даже заблудилась в двух кварталах от дома. Она также не может должным образом реагировать на опасные ситуации, ее рассеянность пугает вас: Дейзи может забыть выключить воду в ванной или во время ливня выйти на улицу без плаща. Ей становится все труднее читать и писать, даже просто поддерживать беседу за ужином – ее словарный запас беднеет. Однажды она говорила о «большом количестве воды, падающем с неба», поскольку забыла слово «дождь», в другой раз – о «доме с колесами», потому что не могла вспомнить слово «фургон».

Также присутствуют эмоциональные симптомы, такие как раздражительность и трудности с социальным взаимодействием. Люди с болезнью Альцгеймера запросто раздражаются по мелочам, из-за параноидальных расстройств становятся недоверчивыми. Эмоции могут возникать спонтанно и вне контекста – это может быть как нежелательная агрессия, так и неуместный смех или слезы. Наконец, есть более очевидные физические симптомы, проявляющиеся в повседневной деятельности, такой как приготовление пищи, стирка, переодевание и т. п.

Каждые семь секунд у кого-то в мире диагностируется деменция. Подавляющее большинство больных – это пожилые люди, только в 2 % случаев пациенты оказываются моложе 60 лет. После обнаружения симптомы могут быть стабильными в течение 5–10 лет, в зависимости от возраста при постановке диагноза. В настоящее время в Великобритании насчитывается около 800 тысяч человек, страдающих болезнью Альцгеймера, к середине этого столетия их число вырастет почти до 2 миллионов. Деменция не является естественным следствием старения, но это заболевание, тем не менее, нередко развивается у пожилых людей. [\[279\]](#)

В 70 % случаев деменция объясняется болезнью Альцгеймера, которая, однако, может быть окончательно подтверждена только после смерти по специфическим маркерам, выявляемым путем гистологического

исследования. Ключевой особенностью деменции, будь то болезнь Альцгеймера или какая-либо другая (например, лобно-височная деменция или деменция с тельцами Леви), является потеря большого числа нейронных связей, которые, как мы видели, делают каждого человека уникальным.

Если вы не можете получить доступ к своим персонализированным нейронным связям, если объекты и окружающие вас люди не наделяются специфическими значениями, то вам приходится воспринимать мир номинально. Это возвращение к младенческому восприятию – это «грохот, гудение и путаница». Иногда, просыпаясь в гостиничном номере, вы не сразу осознаете, где находитесь и почему вы там, проходит определенное время, прежде чем включается ваш «ум» – персональный когнитивный подход к миру. Ваше восприятие и уникальный жизненный опыт – это то, что вы считаете самым собой разумеющимся. Но пациентам с деменцией не так повезло. Их сознание обречено на постепенную деградацию. Действительно, Дейзи в своем поведении и восприятии мира все больше уподобляется ребенку.

Современные методы медикаментозной терапии при деменции заключаются в стабилизации размеров нейронных ансамблей и эффективны примерно в 60 % случаев. Симптомы заболевания могут временно отступить или, по крайней мере, стабилизироваться. Если пациент проходит длительное лечение, заболевание в целом способно замедлить темп развития, позволяя больному приспособливаться к решению повседневных задач.

Принцип, лежащий в основе лечения, заключается в увеличении доступности ацетилхолина, одного из самых важных модуляторов, регулирующих формирование нейронных ансамблей. Препарат блокирует фермент, который обычно разрушает ацетилхолин, оказавшийся теперь в дефиците вследствие гибели синтезирующих его клеток. Но, к сожалению, эффект оказывается временным, поскольку препарат не решает главную проблему – клетки мозга продолжают гибнуть.

Остается загадкой, почему безжалостный цикл прогрессирующей гибели клеток мозга, характерный для болезни Альцгеймера, так избирателен.<sup>[280]</sup> Уязвимы только определенные группы клеток, а именно триггерные хабы, и они первыми подвергаются дегенерации задолго до проявления клинических симптомов. Однако любопытно, что болезнь Альцгеймера нередко сочетается с другим дегенеративным расстройством – болезнью Паркинсона.<sup>[281]</sup> Болезнь Альцгеймера относится к

когнитивным нарушениям, а болезнь Паркинсона – к двигательным, однако оба заболевания являются прямым следствием гибели определенных групп нейронов, что наталкивает на мысль о существовании общего механизма, лежащего в основе характерного цикла клеточной смерти. Оказывается, только эти группы клеток в полной мере сохраняют свойства роста и развития в зрелом мозге. Таким образом, процессы, лежащие в основе болезней Альцгеймера и Паркинсона, могут быть искаженной формой проявления этих свойств. [\[282\]](#)

Какова же будет динамика нейронных ансамблей при данных патологиях? Вследствие выборочной гибели ключевых клеток будет снижаться интенсивность выделения аминов, выступающих в качестве регуляторов размеров ансамблей. Они будут уменьшаться – этот процесс напоминает медленный возврат к младенчеству – печальное свойство деменции. Тем не менее у младенца малые размеры ансамблей объяснялись бы слабой связанностью различных нейрональных групп в «высших» областях мозга, таких как префронтальная кора, а аминные фонтаны работали бы нормально и, возможно, даже чрезмерно. В противоположность этому, при нейродегенеративных процессах модулирующие фонтаны «пересыхают», хотя уже существовавшая нейрональная связь может сохранять нормальную структуру: хорошо известно, что симптомы деменции могут проявляться спустя годы и даже десятки лет после начала дегенеративного процесса. Иными словами, ансамбли в младенческом мозге малы, потому что малы камни, падающие в воду, а при деменции – потому что водоем пересыхает и зарастает, и рябь угасает слишком быстро.

В конце концов и сами камни уменьшаются, а локальные нейронные связи по всему мозгу демонтируются. Из этого следует, что если камни станут крупнее, то ансамбли снова станут немного больше. Для этого существуют различные типы немедикаментозной терапии. Например, реминисцентная терапия, которая доказала свою эффективность в снижении негативных эффектов болезни Альцгеймера. [\[283\]](#) Несмотря на то, что у пациентов могут быть проблемы с краткосрочной памятью, они вполне могут рассказать о своей молодости, о жизни в военные годы так, будто это было вчера. Реминисцентная терапия основана на том факте, что у большинства людей есть яркие воспоминания из прошлого, вызывающие сильные эмоции и позволяющие снова почувствовать полноту жизни и наладить общение членами семьи и другими важными людьми.

Еще один способ пробудить чувства, который уже хорошо известен

нам, – музыка.<sup>[284]</sup> Альбом любимой группы или одна мелодия с особым значением, например звучавшая на свадьбе или во время первого свидания, могут оказать значительное влияние на пациентов с болезнью Альцгеймера. Даже когда память ослабевает, музыка все еще может оказывать мощный положительный эффект. Музыка имеет особую власть над нашими мыслями и чувствами. Как мы видели ранее, она является равнозначным, но самобытным дополнением к языку. Пациент в глубокой деменции нередко может воспринимать музыку еще долго, после того как другие когнитивные процессы, такие как концентрация внимания и память, были утрачены, и поэтому музыка, вызывающая сильные чувства, может оказывать помощь в общении с близкими.

В своей книге «Музыкафилия» невролог Оливер Сакс рассказал историю восьмидесятилетней Бесси Т., бывшей блюзовой певицы с болезнью Альцгеймера. Нарушения памяти у Бесси были столь серьезными, что она утратила способность удерживать что-либо в уме дольше минуты. В рамках подготовки к вечеру талантов в доме престарелых она и ее музыкальный терапевт репетировали песню вместе. В тот день Бесси исполнила ее красиво, правильно и с большим чувством. Она вспомнила все слова. Еще через несколько мгновений после того как отошла от микрофона, она уже не помнила, что вообще пела.<sup>[285]</sup>

Помимо зрения и слуха, подобные эффекты вызывают обоняние и вкус. Любимые блюда и напитки, ароматы цветов или парфюма могут помочь пациенту вспомнить детали историй, с которыми они связаны. Все это в той или иной мере увеличивает силу броска ментального камня.<sup>[286]</sup>

Какие ансамбли собираются и распускаются по очереди в вашем мозге прямо сейчас? Вы открываете входную дверь, но в доме уже царит тишина. К вашему виноватому облегчению, все уже разошлось по спальням, конечно, по разным причинам: Джек намерен интенсивно общаться со смартфоном, Дейзи, как маленький ребенок, уже спит большую часть дня. Джейн, скорее всего, смотрит в потолок и не обратит внимания на ваше появление. Даже Бобо уже спит в своей корзине, его худая морда покоится между вытянутыми вперед лапами. Горько-сладкое одиночество в гостиной – ваш единственный вариант на сегодняшний вечер.

## СНЫ

Вы рассеянно раздеваетесь, затем заворачиваетесь в плед, устраиваетесь поудобнее и замираете, наблюдая за игрой теней на стене. Теперь вам кажется, что день пролетел очень быстро: совсем недавно вы уговаривали себя подняться с кровати, а сонливость медленно и неохотно отступала. И вот вы снова засыпаете.

Средняя продолжительность сна заметно варьируется для разных видов – от трех часов у осла до двадцати часов у броненосца. Очевидно, эти различия отражают экологические потребности различных животных. [287] Но в затяжном забвении сна есть временные отрезки, напоминающие сознательное состояние, в котором вы пребывали днем, но в то же время причудливо от него отличающиеся: сновидения. Сам термин «сновидение» традиционно использовался взаимозаменяемо с другим, более научным, «REM» (фаза быстрого сна) – это своеобразный этап, характеризующийся быстрыми движениями глаз под закрытыми веками.

Однако недавние исследования указывают на то, что сновидения могут возникать независимо от наступления REM-фазы. Около 50 % испытуемых, чей сон прерывался до наступления фазы быстрого сна, тем не менее, сообщали о переживании сновидений. Дальнейшая диссоциация между субъективным опытом сновидений и REM-фазой проявляется во время ночных приступов вне фазы быстрого сна, которые часто сопровождаются ночными кошмарами. Более того, последствия повреждений в различных областях мозга также говорят о том, что REM-фаза не может быть однозначным синонимом сновидения, и наоборот: поражения примитивных отделов мозга устраняют явные признаки REM-фазы, но не затрагивают сновидения, тогда как поражения высших отделов мозга не влияют на REM-фазу но лишают сновидений. Поэтому, изучая сон, важно помнить о том, что «фаза быстрого сна» и «фаза сновидений» – вовсе не эквивалентные друг другу понятия.

## Назначение сновидений

Для спящего сновидение может казаться абсолютно реалистичным, но в ретроспективе, после пробуждения, становятся очевидными многие несоответствия. Фрагментированность сюжета, неправдоподобность большей части происходящего, например ощущение полета или внезапное превращение одного человека в другого и т. п., кажутся нелепыми в холодном свете дня. Итак, какова цель столь причудливой игры сознания? Чтобы ответить на этот вопрос, следует начать с того, что происходит, когда человека лишают возможности видеть сны. Учитывая, что сновидение происходит как в фазе REM, так и вне ее, невозможно выборочно лишать человека сновидений, при этом не нарушая сон на всех остальных этапах. Тем не менее влияние лишения сна в целом на психику изучалось на протяжении более чем полувека,<sup>[288]</sup> и все исследования указывают на то, что сон в целом и, возможно, сновидения в частности напрямую влияют на нашу способность справляться со злоключениями наступающего дня.

И все же одно дело – наблюдать негативные последствия экстремального, искусственного лишения сна, и совсем другое – разложить по полочкам то, что происходит в мозге во время нормального сна, и понять, почему мы вообще видим сны. Эксперт в области изучения сна Аллан Хобсон и его коллега Карл Фристон подошли к этим базовым вопросам с точки зрения идеи, что сны предлагают нам альтернативный мир, который существует внутри мозга, без дополнительной нагрузки сенсорных входов извне.<sup>[289]</sup> С другой стороны, информация, сообщаемая мозгу нашими ушами, глазами, языком, носом и кожей, может иметь ключевое значение.

Идея Хобсона и Фристана заключается в том, что сновидения ориентированы на обработку ранее испытанных ощущений,<sup>[290]</sup> наиболее эффективную при «автономном режиме» работы мозга, позволяющую после пробуждения лучше ориентироваться, анализировать и использовать реальную среду.

На первый взгляд такая схема кажется весьма правдоподобной. Во сне мозг пытается рационализировать опыт, что приводит к реорганизации нейронных связей, которые надлежащим образом упрощаются. Без этой «плановой реконструкции», обеспечиваемой сном, нейронные сети становились бы чрезмерно сложными и дисфункциональными.<sup>[291]</sup> Похоже, для этого мозгу необходимо временно блокировать сенсорные входы – так

же, как водопроводчику необходимо перекрывать воду при замене труб. Но с какой целью создается субъективный опыт сновидений? Ведь репетиция соответствующего поведения будет бессмысленной или, по крайней мере, не особенно эффективной, поскольку воспоминания о ней часто оказываются нечеткими после пробуждения: нет никакой гарантии, что вы вспомните, чему «научились».

Поскольку сон несет функцию консолидации и рационализации опыта, он представляет особенную ценность для высокоорганизованных животных.<sup>[292]</sup> Животные с большой массой мозга по отношению к общей массе тела нуждаются в большем количестве REM-сна, чем менее «мозговитые» виды.<sup>[293]</sup> По всей видимости, это касается и сновидений.

Джерри Сигель и его группа из Центра исследований сна в Лос-Анджелесе предложили альтернативную причину феномена сновидений, обнаружив неожиданную закономерность. Она указывает на тесную корреляцию между высокими уровнями REM-сна у альтрициальных животных. Альтрициальные животные, такие как кошки, крысы и люди, рождаются совершенно беспомощными и неспособными обслуживать себя в отличие от таких животных, как лошади, антилопы и морские свинки, которые в большей степени способны заботиться о себе с раннего возраста. В то время как у второй группы животных доля REM-фазы сна не претерпевает значительных изменений в течение жизни, у первой группы, как правило, в раннем возрасте доля REM-фазы сна высока, но она уменьшается по мере созревания. Таким образом, кажется, что незрелость при рождении позволяет предсказать динамику REM-сна в течение жизни.

## Онтогенез и филогенез сновидений

На седьмом месяце пребывания в утробе матери человеческий плод проводит большую часть своего времени во сне,<sup>[294]</sup> при этом каждые 20–40 минут наступает полноценная REM-фаза. У новорожденных REM составляет как минимум половину от общего времени сна,<sup>[295]</sup> а это почти вдвое больше, чем у взрослых.<sup>[296]</sup> Таким образом, независимо от того, какое значение для мозга играют сновидения и фаза быстрого сна, это явно нечто очень базовое, доминирующее в начале как индивидуального развития (онтогенеза), так и эволюционного (филогенеза). Разумеется, идея,<sup>[297]</sup> что цель сновидений заключается в консолидации сложных когнитивных процессов, противоречит непропорциональному количеству REM, наблюдаемому на раннем этапе жизни, и особенно в ограниченной среде матки, где плод явно не сталкивается с повседневными жизненными трудностями. Помимо несостоятельности REM-фазы сна как кандидата на роль биологического механизма консолидации памяти и когнитивного мусора, накопленного в течение дня, было бы трудно объяснить, почему в определенных ситуациях, более скромному мозгу, не нуждающемуся в эффективном механизме обработки памяти, предоставляется самая большая очевидная возможность для этого.<sup>[298]</sup>

## Нейробиология сновидений

Чтобы разобраться со сновидениями, нам нужно вернуться к истокам, к самому мозгу. Давайте попробуем выявить все очевидные различия между этими двумя состояниями сознания: дневным бодрствованием и ночным видением снов. Наиболее фундаментальным является принципиальное отличие в характере взаимодействий мозга с внешним миром. Скелетная мускулатура оказывается парализованной во время сна, что объясняет странное ощущение фиксированности тела на месте при попытках убежать от обитателей ваших ночных кошмаров. Любопытно, хоть и чрезвычайно редки, случаи срабатывания этого механизма во время бодрствования, когда сенсорная стимуляция необычайно мощна и интенсивна: скажем, при сильном приступе смеха или в пик оргазма некоторые люди могут внезапно впасть в состояние глубокого сна.<sup>[299]</sup> Однако этот механизм может проявляться в более приглушенной форме в моменты сильного волнения или страха, когда вы ощущаете оцепенение и «слабость в коленях» из-за расслабления мускулатуры ног.<sup>[300]</sup>

Это явление свойственно не только людям. Замирание при испуге может проявлять себя как универсальный адаптивный ответ, предназначенный для защиты от хищников, например когда мышь чувствует запах кошки. Очевидно, природа считает, что при мощном эмоциональном потрясении лучше оставаться тихим и неподвижным до тех пор, пока не минует опасность. В крайних случаях речь может идти о полноценном засыпании, но этот принцип работает и в обратную сторону: сон влечет за собой неподвижность.

Одно из объяснений заключается в том, что в случаях крайней опасности или возбуждения бывает затруднительно принять необходимые меры, поэтому лучшим решением оказывается бездействие, позволяющее к тому же более грамотно оценить ситуацию. Однако следует учитывать, что примитивные животные, которые едва ли обладают такими развитыми когнитивными возможностями, могут демонстрировать такое же поведение, поэтому сначала, по всей видимости, возник сам механизм, а затем он был адаптирован эволюцией к более изощренным потребностям нашего вида. С чего же все началось?

Согласно одной из теорий, во время сна лобная часть мозга дезактивирует двигательную систему. В результате того, что этот маршрут заблокирован, фокус мозговой активности смещается назад, в задние

области, связанные с восприятием, но без типичной сенсорной стимуляции. [301] Тем не менее все мы знаем, что пронзительный звук будильника способен «выдернуть» человека даже из самого глубокого сна. Таким образом, на деле критерий полного отключения сенсорной стимуляции не выполняется.

Рудольфо Льянас и Денис Паре, нейрофизиологи из Нью-Йоркского университета, предложили необычную теорию. Они считают, что для нормальной функции мозга сенсорная стимуляция значима лишь в часы бодрствования, но не имеет отношения к сновидениям. [302] По их мнению, во всех других отношениях бодрствование и сновидение – это, по сути, эквивалентные состояния мозга, скорее всего, тесно связанные с непрерывной работой таламокортикальной петли. Фактически они придумали более сложную схему, предположив, что на самом деле существуют две разные таламокортикальные петли: одна имеет неспецифическую активирующую, или возбуждающую, функцию, в то время как другая отвечает за контекст. Таким образом, сознание ни в коем случае не появляется извне, а оказывается фундаментальным, неотъемлемым свойством мозга, просто модулируемым при помощи внешней сенсорной стимуляции.

Тем не менее, как мы уже знаем, нет оснований полагать, что таламокортикальные петли имеют решающее значение для сознания. [303] Во-первых, очень маловероятно, что одна таламокортикальная петля (или даже две) достаточна для формирования сознания: с трудом верится, что маленький кусочек нервной ткани может отвечать за возникновение субъективного опыта. Во-вторых, возбуждение само по себе ни в коем случае не приравнивается к осознанию: ритмы возбуждения могут возникать у пациентов даже после подтвержденной смерти мозга. [304]

Пожалуй, было бы некорректно сравнивать принципиально разные теории Льянаса – Паре и Хобсона – Фристана, поскольку они преследуют разные цели. Первая предлагает нейрофизиологическое описание состояния сновидения, в то время как вторая дает скорее функциональное и весьма абстрактное объяснение. И все же ни одна из теорий не является достаточно убедительной, поскольку ни один сценарий не объясняет все аспекты сновидений, такие как онтогенетически-филогенетический профиль или роль в сновидении других областей мозга. Например, области соединения трех зон коры: теменной, затылочной и височной, [305] связанной с формированием ментальных изображений. [306] Повреждения этой зоны приводят к исчезновению соответствующих визуальных

аспектов сна.

## Сны – отражение реальности или фантазий?

Так что на самом деле происходит в спящем мозге? Почему сновидения так похожи и в то же время не похожи на реальность? Являются ли они отголоском пережитых событий или же это самобытный мир фантазий, существующий независимо от внешнего мира? На языке нейронауки этот вопрос можно перефразировать, спросив, связаны сновидения с нейрональными механизмами первичного восприятия (по принципу «снизу вверх») или же здесь работает принцип «сверху вниз» и они являются исключительно отражением удивительной работы воображения.

Здесь мнения ученых разделяются. В одном лагере эксперт в области сна Аллан Хобсон, утверждающий, что сновидения генерируются по принципу «снизу вверх» благодаря интенсивному выделению ацетилхолина в высших нервных центрах. В этом случае сны могут расцениваться как несколько искаженная и упрощенная форма восприятия. И во многих отношениях это кажется справедливым: сны выглядят как отголоски восприятия из реальной жизни. Например, пациентам с нарушениями восприятия лица не снятся лица.<sup>[307]</sup> А для людей, потерявших зрение после достижения семилетнего возраста, тем не менее, в сновидениях доступны зрительные образы,<sup>[308]</sup> по-видимому, потому, что их опыт также повлиял на последующие представления об окружающей среде, поэтому они, как и прежде, обладают способностью создавать визуальные образы. Между тем тот факт, что слепые с самого раннего возраста люди не «видят» снов,<sup>[309]</sup> еще раз указывает на соответствие репертуара ощущений, доступных в сновидениях, образу жизни и переживаниям субъекта.

Но чем обусловлено странное смысловое содержание сновидений? Почему иногда образы из давнего прошлого и фантазий переплетаются с недавно пережитыми событиями? Для того чтобы ответить на этот вопрос, исследователи из Киото попытались «декодировать» визуальный контент снов. Каждый раз, когда на ЭЭГ испытуемых возникал определенный профиль, их будили и просили пересказать содержание сновидения. Таким образом было собрано более двухсот отчетов о сновидениях, содержащих данные о 30–40 часах экспериментальных наблюдений для каждого испытуемого. Хотя были и некоторые редкие исключения, такие как встречи с мифическими существами или знаменитостями, значительно чаще испытуемые сообщали об образах, связанных с повседневной

жизнью. [\[310\]](#)

Стратегия заключалась в выявлении образов, которые часто фигурировали в отчетах, таких как «женщина», «мужчина», «автомобиль», «компьютер». Затем, демонстрируя фотографии соответствующих предметов испытуемым после пробуждения, исследователи получали индивидуальный рисунок мозговой активности для каждого объекта, который можно сопоставить с теми, что были получены до пробуждения.

Оказалось, что каждый конкретный визуальный опыт во время сновидений коррелирует с паттернами активности на сканах мозга во время бодрствования, что позволяет с достаточной точностью предсказать, о чем испытуемый расскажет после пробуждения. Таким образом, это исследование поддерживает идею, что сновидения и повседневное восприятие могут быть обусловлены активностью одних и тех же нейронных сетей. Казалось бы, это подтверждает и справедливость концепции, которую мы назвали «снизу вверх». Но есть противоположное мнение: со времен Зигмунда Фрейда популярна мысль, будто сновидения генерируются по принципу «сверху вниз», зарождаясь в высших отделах мозга, отвечающих за наши самые экзотические и своеобразные мыслительные процессы. Теория сновидений Фрейда была основана на разделении сознания: «Ид» (Оно) – источник атактистических побуждений; «Эго» – это, по сути, и есть личность человека, олицетворение разума, осуществляющее контроль над психическими процессами, его основная функция заключается в поддержании взаимосвязи между инстинктами и действиями; «Супер-эго» является психической инстанцией, которая включает социальные установки, идеалы, совесть – в метафорическом значении выступает в качестве внутреннего голоса, цензора. Фрейд предположил, что сновидения разоблачают «Ид» и формируют пространство, в котором реализуются скрытые желания и потребности. Однако эти желания могут быть настолько нежелательными, что ум переводит их содержание в более приемлемую символическую форму. В результате возникают странные и непонятные образы. Более того, по мнению Фрейда, причина зыбкости и недолговечности памяти о сновидениях заключается в том, что «Супер-эго» защищает сознание от суровой реальности собственного подсознания. Итак, идея здесь заключается в том, что сновидения формируются по принципу «сверху вниз», являясь продуктом сложных психических процессов, а вовсе не банальной обработки информации, поступающей из внешнего мира.

В поддержку этой теории выступает четкий контраст между уровнями сложности сюжетов сновидений и состояний бодрствования у детей по

сравнению со взрослыми. Исследования выявили тот факт, что сны дошкольников не содержат никаких ощущений или актов социального взаимодействия. Это статичные и простые сцены, в которых ребенок не играет никакой роли, но наблюдает, например, как пасется лошадь.<sup>[311]</sup> Если бы сновидения малышей были непосредственно ориентированы на восприятие, тогда они были бы такими же оживленными и непосредственными, как и само восприятие в их повседневной жизни. Другая причина, по которой не может быть прямой связи между сновидениями и сознанием во время бодрствования, вытекает из опыта клинической неврологии – при некоторых повреждениях мозга пациенты полностью утрачивают способность видеть сны. В 100 % зарегистрированных случаев поврежденной оказывалась кора головного мозга. Таким образом, если она играет ключевую роль, это говорит о том, что сновидения не связаны непосредственно с входящими перцептивными переживаниями, но генерируются «высшими» центрами, такими как лобная кора, а также трехкомпонентным кортикальным соединением, упомянутым ранее, поэтому наиболее вероятное анатомическое место зарождения сновидений – участок между ним и лобной корой.<sup>[312]</sup> Однако с середины двадцатого века считается, что в эти процессы должен быть вовлечен еще один участок коры.

Канадский нейрохирург Уайлдер Пенфилд, который уже встречался нам в главе 1, первым разработал метод прямой стимуляции мозга у бодрствующих пациентов, страдающих эпилепсией.<sup>[313]</sup> Его работа имеет особое значение для изучения сна, поскольку он обнаружил, что когда обнаженная поверхность еще одной кортикальной зоны (медиальной височной доли) подвергается прямой стимуляции, пациенты нередко сообщают, что процедура спровоцировала воспоминания, которые, однако, больше напоминают сон. Для них нехарактерны конкретные временные и пространственные координаты, которые обычно позволяют индивидууму разместить такой эпизод в более широком контексте дня, месяца или года.

Как мы уже упоминали, характерное отличие между сном и явью заключается в том, что память о сновидении, как правило, слаба по сравнению с ясной и надежной памятью о действительных событиях. И все же именно такой образ мышления характеризует клинические психозы, такие как шизофрения, при которых больной находится в почти бредовом состоянии, дезориентирован и абстрагирован от окружающей действительности. Нередко такие состояния сопровождаются галлюцинациями. Похоже на ваши худшие ночные кошмары. Не правда

ли?..

Опять же, хотя в сновидениях редко присутствует сложный контекст, нет четкого сюжета и, само собой, нет реальной угрозы, часто бывает зловещее предчувствие, ощущение присутствия скрытой, невидимой опасности. Сны характеризуются сильными эмоциями, но обычно это эмоции активного типа, такие как гнев, страх и радость, и чрезвычайно редки пассивные и более сложные эмоции, например печаль, стыд и раскаяние. Одна из возможных причин заключается в том, что «активные» эмоции не так сильно зависят от ранее сформировавшегося контекста. Они могут выступать в качестве мгновенной реакции на те или иные события. При шизофрении ситуация аналогична, так как сложный контекст менее выражен и менее устойчив, что объясняет отсутствие логического мышления и неспособность интерпретировать пословицы, а также реактивность поведения, присущую детям. Напротив, только дети старшего возраста и здоровые взрослые могут испытывать более зависимые от контекста сложные, «изоэтранные» эмоции, потому что только их мозг способен обеспечить необходимую инфраструктуру нейронов.

Итак, основное различие между сновидением и реальным миром заключается в том, что когда мы засыпаем, возникает разрыв между чувствами и контекстом, в котором эти чувства объективно уместны. Смеяться на похоронах в реальном мире было бы, мягко говоря, неуместно, потому что это не принято. Во сне же, напротив, «норма» задается только самим спящим и лишь в ретроспективе, после пробуждения, будет рассматриваться как нечто безумное или постыдное. Сны – это не столько модель повседневной жизни, сколько сложная игра воображения, которая каким-то образом косвенно и слабо связана с реальностью.

Теперь становится очевидным, что рассмотренные нами концепции «снизу вверх» и «сверху вниз» одинаково бесполезны, не в последнюю очередь потому, что обе кажутся справедливыми. Вместо этого нам нужно найти общий знаменатель, чтобы связать индивидуальные свойства устойчивых нейронных сетей, определяющих повседневное сознание, с очень с бурным, наполненным причудливыми, фантазмагорическими образами и сюжетами миром сновидений.

Шизофрения, как мы уже знаем, связана с необычно высоким уровнем дофамина,<sup>[314]</sup> поэтому неудивительно, что повреждение путей, высвобождающих дофамин, приводит к утрате сновидений, в то время как усиленное высвобождение дофамина усиливает их продолжительность и яркость,<sup>[315]</sup> хотя и без каких-либо изменений в REM-фазе. Напротив,

антипсихотические препараты, назначаемые при шизофрении и выступающие в качестве блокаторов дофамина, так же подавляют сновидения.<sup>[316]</sup> Как это происходит? Наш старый друг, префронтальная кора, является единственной частью коры головного мозга, подверженной воздействию дофамина, выделяющегося в других его областях. Таким образом, если есть избыток дофамина, который, как мы знаем, подавляет префронтальную кору, то мозг будет находиться в состоянии, сравнимом с шизофреническим, характеризующимся яркими спонтанными эмоциями и подавлением логики.<sup>[317]</sup> Ключевым событием является то, что на этот раз дофамин ингибирует префронтальную кору<sup>[318]</sup> в ситуации, связанной со сновидением.<sup>[319]</sup> Но вспомните: ранее мы выяснили, что повреждение префронтальной коры приводит к полностью противоположному эффекту – потере способности видеть сны.<sup>[320]</sup> Как же получилось, что недостаточная активность в той же области усиливает их? Очевидно, что активное торможение дофамином живых клеток в префронтальной коре в корне отличается от ситуации, когда эти клетки попросту мертвы.<sup>[321]</sup>

Но дофамин – это еще не все. Ключ к более широкому нейрохимическому ландшафту состоит в том, что боль обычно подавляется, когда мы спим.<sup>[322]</sup> Это объясняет состояние, подобное сновидению, описываемое теми, кто находился под воздействием морфина (названного, к слову, в честь греческого бога сна). Морфин – это эффективный болеутоляющий препарат из совершенно другого семейства передатчиков – опиатов. Как они вписываются в общую картину? Как мы неоднократно видели в разных ситуациях в течение обычного дня, нейронные ансамбли представляют собой своего рода Розеттский камень для привязки объективной физиологии к субъективному опыту. В предыдущей главе я предположила, что степень субъективной боли может быть связана с большими размерами ансамблей и снижена тормозящим действием опиатов. Из этого следует, что если облегчение боли морфием должно уменьшать размеры ансамблей, то, соответственно, характерный, «напоминающий сон», субъективный опыт также подразумевает, что подобные переживания сновидений тоже могут быть связаны с небольшими размерами ансамблей. Интересно отметить, что и шизофрения характеризуется повышением болевого порога.<sup>[323]</sup>

## Сновидения и размеры нейронных ансамблей

Общей чертой между детьми<sup>[324]</sup> и больными шизофренией<sup>[325]</sup> является то, что их мозг характеризуется высоким уровнем дофамина и недостаточной активностью префронтальной коры. Мы уже выяснили, что эти явления могут коррелировать с небольшими размерами нейронных ансамблей, поэтому механизмы, которые здесь работают, независимо от их природы, также применимы к сновидениям. Чтобы проверить эту теорию, мы можем вновь использовать аналогию с камнем.

Во-первых, она может объяснить, почему запахи не фигурируют в сновидениях.<sup>[326]</sup> Запах, как мы видели ранее, больше, чем любые другие ощущения, зависит не от какой-либо остаточной внутренней активности, как в случае зрения или слуха, а полностью завязан на метафорической силе броска камня: обоняние определяется силой внешней стимуляции, поэтому полностью отсутствует в сновидениях.

Во-вторых, большое количество времени, отведенного сновидениям у плода и младенца, которые еще не находятся в непосредственном и активном взаимодействии с внешним миром.<sup>[327]</sup> Уровни возбуждения будут очевидно скромными: вязкость водоема будет мешать распространению ряби, сила броска будет слабой, а размер камня небольшим, учитывая скудность нейронных связей. Сновидения при малых размерах ансамблей вполне могут быть режимом по умолчанию.

В-третьих, нам известны пагубные последствия лишения сна, и, в частности, сновидений, и речь здесь даже не о нарушении биохимического баланса, накоплении или истощении тех или иных передатчиков: первостепенным оказывается то, что мозг остается восприимчивым к внешней стимуляции. Длительное бодрствование подразумевает непрерывную последовательность метафорических падений камней, так что формирование долговременной пластичности и оптимизация нейронных связей, ориентированная на наиболее значимые стимулы – крупные камни, будут затруднены из-за постоянной конкуренции.

В-четвертых, вспомним исследования, свидетельствующие о том, что REM-фаза сна и сновидения могут происходить независимо друг от друга. Итак, с точки зрения физиологии мозга чем могут отличаться эти два типа сновидений (не-REM и REM)? Эта характеристика может быть количественной, а не качественной. В обоих случаях нейронные ансамбли имеют намного меньшие размеры, чем при бодрствовании. Но поскольку

свойства ансамблей меняются плавно, а не по принципу «все или ничего», эта же скользящая шкала может использоваться для дифференциации не-REM и REM-сновидений. Если наступление REM-фазы связано с интенсивным выделением модулирующего ацетилхолина в стволе мозга, то он будет воздействовать на все области коры, что дает возможность для формирования относительно крупных ансамблей. Напротив, если эта система не активирована, как при Не-REM-сновидениях, то дофамин, который не выделяется так интенсивно, может подойти к выбору цели гораздо более избирательно и сосредоточиться на префронтальной коре. Независимо от других факторов, отсутствие дополнительного модулятора, такого как ацетилхолин, может привести к тому, что ансамбли будут еще меньше. Сновидения в таких условиях все еще возможны, хотя и редки.

В-пятых, продолжительность фаз быстрого сна увеличивается в течение ночи. Нейробиолог Билл Клемм из Техасского университета выдвинул интригующее предложение, что мозг использует быстрые движения глаз, чтобы проснуться.<sup>[328]</sup> Его идея, безусловно, подтверждается фактами: ночные эпизоды REM-фазы становятся длиннее и чаще с приближением утра. Как будто мы пытаемся разбудить себя всю ночь, и с течением времени попытки становятся более успешными, так как периоды REM-фазы увеличиваются (см. главу 2).

Этот сценарий также помогает объяснить феномен «осознанных сновидений» – состояние, которое было впервые описано Аристотелем.<sup>[329]</sup> Греческий философ утверждал, что «часто, когда человек спит, что-то в его сне указывает на нереальность происходящего». По сути, спящий осознает, что видит сон. Таким образом субъективное сознание оказывается на тонкой грани между нормальным сновидением и бодрствованием. Возможно, этот более изощренный контент предполагает, что нейронные ансамбли в случае осознанных сновидений обладают большими размерами, что уже само по себе увеличивает вероятность пробуждения.

Нейронные ансамбли являются бесконечно динамичным продуктом взаимодействия целого ряда различных факторов. Таким образом, они могут связывать микроуровневые компоненты – клетки и синапсы – с макроуровневыми областями мозга, создавая основу для понимания феномена снов. Но сейчас вы еще больше отдаляетесь от реальности, погружаясь в сон без сновидений...

## Глубокой ночью

Это был долгий день, но он наконец закончился. Последовательность различных психических состояний, через которые вы прошли, теперь может быть выражена двояко – в терминологии объективной физиологии и языком субъективной феноменологии. Степень активности нейронов с одной стороны подкрепляется влиянием чувств с другой. Мы могли бы объективно описать ваши ранее существовавшие ассоциации или их более субъективную личную значимость. Также нужно учитывать наличие модуляторов, таких как дофамин, физиологически обуславливающий ощущение возбуждения. Еще одной объективной особенностью является формирование конкурирующих ансамблей и регулирующая функция префронтальной коры.

Физиология и феноменология в нашем случае – две равноценные стороны одной монеты, а это значит, что мы можем переключаться между нейрофизическими особенностями нейронных ансамблей, перекрестно ссылаясь на субъективную феноменологию. Мы можем начать с физиологии и посмотреть, как формирование, скажем, необычно малых ансамблей может вытекать из комбинаций различных физиологических факторов, таких как скудность нейронных связей, снижение уровней модулирующих веществ или сила сенсорной стимуляции. В то же время мы можем двигаться в обратном направлении и интерпретировать повседневные события или типы психических состояний и, следовательно, состояния сознания как соответствующие отдельным профилям динамики нейронных ансамблей.

Самое главное, что в ходе наших рассуждений мы выявили роль нейронных ассамблей как посредника между объективными и субъективными состояниями, что помогло нам ответить на ряд сложных вопросов: в чем отличие человеческого сознания от сознания, скажем, вашего пса? Как действует анестезия? Почему мы просыпаемся от звона будильника? В чем различие между слухом и зрением? Почему мы видим сны и как окружающая среда влияет на наше сознание?

## Нейронные ансамбли: Розеттский камень, связывающий физиологию и феноменологию

Теперь, исходя из имеющихся знаний, мы можем рассматривать различные ситуации с точки зрения общего фактора, бесценного Розеттского камня – нейронных ансамблей. Давайте обратимся к одному примеру. Ключевая разница между депрессией и, скажем, тревожным расстройством заключается в том, что депрессия характеризуется определенным лейтмотивом, например переживаниями, вызванными смертью супруга или затяжной болезнью и постоянно накладывающими отпечаток на общее настроение. Тревога, напротив, порождает множественные, разнообразные воображаемые сцены, вызывающие сильные переживания, как если бы они происходили в реальности: беспокойство по поводу платежей по ипотечным кредитам может вызвать в воображении сцены судебных разбирательств, изъятия имущества, ссоры с супругом и т. д.

Хотя депрессия и тревога будут основываться на устойчивой, обширной нейронной схеме, последующие события будут разными в каждом случае. Уровни нейромодуляторов ниже при депрессии, в то время как у тех, кто страдает от тревожных расстройств, они выше, как при банальном страхе, но, опять же, тревога будет отличаться от страха тем, что страх вызывает интенсивная внешняя стимуляция. В случае тревоги формирование ансамблей в первую очередь определяется внутренними факторами, что роднит ее с депрессией: все три разных состояния могли бы отличаться неодинаковым вкладом различных факторов, которые приводят к возникновению соответствующих нейронных ансамблей и, следовательно, определенного состояния сознания.<sup>[330]</sup>

То, что нейробиология способна нам дать, – это не столько ответы, сколько грамотные вопросы, которые можно исследовать эмпирически: в известной терминологии Карла Поппера – «фальсифицируемые гипотезы».<sup>[331]</sup> Однако чтобы выйти за рамки одних лишь рассуждений, нужно приступить к экспериментам.

В главе 2 мы познакомились с профессором Брайаном Поллардом из Манчестерского университета, который разработал новаторскую методику исследования мозга, известную как функциональная электрическая импедансная томография по реакции отклика (fEITER). Этот метод

позволяет его команде рассматривать мозг не только на очень коротких временных масштабах, но и неинвазивно, так что эта методика открывает возможность для применения у людей.<sup>[332]</sup> Другие неинвазивные методы, такие как fMRI, сравнительно безболезненны и практичны, но они позволяют оценивать только косвенные параметры, такие как изменения в кровотоке, в то время как fEITER напрямую считывает изменения состояний мозга, а именно изменения электрического сопротивления нейронов,<sup>[333]</sup> а это прекрасная возможность для мониторинга человеческого мозга в реальном времени. Вы можете представить себе наш восторг, когда профессор Поллард сообщил в прессе, что его данные подтверждают справедливость подхода нашей лаборатории к изучению «природы сознания». Такие исследования в будущем, возможно, обеспечат нас бесценной информацией о механизмах работы мозга, лежащих в основе различных субъективных состояний сознания.

## Мозг и тело

Существенный и основной факт, который мы до сих пор игнорировали, заключается в том, что мозг существует внутри тела – он не плавает свободно в каком-то сюрреалистическом пространстве, как иногда представляют себе философы.<sup>[334]</sup> Нервная система постоянно взаимодействует с иммунной и эндокринной системами, в противном случае не существовало бы эффекта плацебо, влияния гормонов одновременно на физическое и психическое состояние. Любая реалистическая теория сознания, основанная на физиологических предпосылках, должна учитывать это взаимодействие.

Следующая сложность заключается в том, как мозг осуществляет тонкое и многостороннее управление огромным количеством различных процессов, протекающих в теле.

Какой бы сигнал он ни посылал в ту или иную часть тела, этот сигнал должен отражать не только размер нейронного ансамбля, но и характер его внутренней активности, продолжительность временного окна и информацию о месте его возникновения. Эта проблема решается путем учета различных и сильно изменяющихся факторов. Их соотношения всегда уникальны: это означает, что, в отличие от тех или иных анатомических областей мозга и их электрической сигнатуры, каждый ансамбль будет уникальным, что дает ему неоспоримое преимущество по сравнению с другими претендентами на роль нейронального коррелята сознания (см. главу 1). Но если это так, теперь необходимо доставить этот комбинированный пакет качественной и количественной информации таким образом, чтобы он мог оказывать влияние на участок периферической нервной системы, соответствующий тому или иному органу – скажем, кишечнику, – а также на другие крупные системы (автономную нервную, эндокринную и иммунную). Должно существовать некое системное сопряжение, обеспечивающее прямую и обратную связь между периферическими органами и мозгом.<sup>[335]</sup>

К счастью, существуют идеальные посредники: молекулы пептидов. Пептиды состоят из тех же строительных блоков (аминокислот), что и белки, но отличаются от них по размеру – они могут быть намного меньше. Сам термин происходит от греческого слова *peptós* – «питательный», поскольку эти молекулы уже давно ассоциируются с кишечником, хотя, как выяснилось, могут также функционировать в качестве эффективных

передатчиков в мозге. Фактически кишечники мозг, кажется, находятся в тесном диалоге, что невольно отражается во фразе «чувствовать нутром».

[336] Клетки кишечника способны выделять пептиды, которые в интересующем нас случае действуют как гормоны, которые влияют не только на местное пищеварение, но и на периферические нервы, посылая сигналы в спинной мозг. Поразительно, что они могут оказывать значительное влияние на мозговые процессы, лежащие в основе памяти и эмоций, воздействуя на широкий спектр областей мозга. [337] Но, разумеется, не только кишечник способен общаться с мозгом при помощи этих услужливых и универсальных лазутчиков: например, пептид, вызывающий повышение артериального давления, – ангиотензин – продуцируется почками, но также может оказывать влияние на сложные функции мозга, такие как обучаемость.

Пожалуй, самым известным случаем интимного взаимодействия между различными системами организма является процесс, сопряженный со стрессом. Он начинается с выделения специализированного гормона (кортикотропин-высвобождающего гормона) и передатчика (норадреналина), который, помимо прочего, борется с воспалениями, вызванными повреждением ткани. Этот процесс может быть замешан в более продолжительных психологических состояниях: например, долгосрочная активация этой системы иногда приводит к депрессии. Широкий спектр нарушений, от воспалительных заболеваний вроде ревматоидного артрита до менее очевидных психических проблем, возникает, когда в трехстороннем союзе эндокринной, иммунной и нервной систем происходит сбой.

Хотя мы еще не имеем представления, как она устроена, но точно знаем, что такая трехсторонняя связь существует. Например, депрессия увеличивает риск различных заболеваний вследствие нарушений работы иммунной системы. В исследовании, длившемся более двадцати лет с участием двух тысяч американцев средней возрастной категории, было выявлено, что депрессия в два раза увеличивает риск развития раковых заболеваний независимо от других факторов, таких как курение или семейный анамнез. [338]

В еще одном эксперименте, уже на крысах, сладкий вкус сам по себе стал оказывать тот же эффект, что и иммуносупрессант, изначально добавляемый в сладкую пищу. Сформировался парадоксальный пищевой стимул: иммунная система крыс подавлялась не самим препаратом, а простой ассоциацией эффектов препарата со сладким вкусом. [339]

Совершенно очевидно, что определенная выученная ассоциация, например сладкий вкус, может спровоцировать каскад таких веществ, как пептиды, которые влияют и на мозг, и на иммунную систему. Но остается загвоздка: как происходит такое взаимодействие? Маловероятно, что локальные выбросы определенных веществ возникали беспорядочно без учета состояния организма в целом. Такой сценарий породил бы настоящий хаос...

Помимо выполнения целого ряда функций вне мозга, пептиды могут работать внутри мозга как полноценные нейротрансмиттеры. Энкефалин, например, является аналогом морфина и несет функцию облегчения боли. Однако примечательное общее свойство почти всех пептидов в центральной нервной системе заключается в том, что они часто нацелены на тот же нейрон, что и другой передатчик.<sup>[340]</sup> Так, дофаминергические клетки могут быть столь же восприимчивы к энкефалину.<sup>[341]</sup> Почему природа перегружает нейрон двумя разными типами рецепторов, если оба передатчика выполняют одну и ту же функцию?

Но предположим, что это не так. Пептиды выборочно высвобождаются на определенных участках и только при определенных условиях: активность клетки должна быть выше и продолжительнее обычного. Поскольку в мозге насчитывается около сотни различных пептидов,<sup>[342]</sup> отличающихся по количеству и химическим свойствам, мозг имеет в своем распоряжении мощный дополнительный инструмент. Цифровой параметр «все или ничего» теперь можно разумно преобразовать в аналоговый. Поэтому, возможно, нет ничего нелепого и экстравагантного в том, что два типа молекул нацелены на один нейрон: классический передатчик работает на локальном, кратковременном уровне, в то время как пептидный функционирует на больших временных и пространственных масштабах.

Мы знаем, что одно из основных свойств нейронных ансамблей заключается в их продолжительной активности, обычно в сотни раз превышающей продолжительность единичного потенциала действия (ПД). Из этого следует, что ансамбли создают идеальные условия для освобождения пептидов, сообщая другим нейронным группам и телу, что возникла значимая активность, а не только одна или две изолированных вспышки. Более того, эта информация не будет простым тумблером. Дополнительный качественный фактор – химическая идентичность выделяемого пептида – может дать развернутую информацию о конкретном нейронном ансамбле вкуче с: 1) уровнями высвобождаемых веществ, 2) продолжительностью релиза (высвобождения) и 3) конкретным сочетанием

различных пептидов, которое, в свою очередь, дает представление о размере и даже анатомическом происхождении ансамбля, поскольку разные области мозга будут иметь разные пептидные сигнатуры. В свою очередь, эти функции отражают и считывают разнообразную функциональную информацию, будь то возбуждение, пластичность (запоминание), сенсорное раздражение или внутренний сигнал (голод, боль и т. д.).

Повторим еще раз: при генерации нейронного ансамбля разнообразные факторы будут дифференциально определять конечный размер (силу ряби), который уже определяется степенью сенсорной стимуляции (силой броска камня), характером когнитивных ассоциаций (размером камня), химическим ландшафтом (вязкостью водоема) и взаимодействием конкурирующих, вновь возникающих ансамблей (частотой последующих бросков). Все эти факторы, как мы видели неоднократно в разных ситуациях в течение дня, определяют уникальные свойства каждого нейронного ансамбля.

Упрощенная схема того, как мозг и тело могут взаимодействовать посредством ансамблей, показана на рис. 6, и сама по себе неизбежно порождает еще много вопросов. Но чего же следует ждать от завтрашнего дня?..



**Рис. 6.** Возможный механизм формирования сознания. Два набора концентрических кругов представляют собой два временных нейронных ансамбля, охватывающих десятки миллионов клеток мозга: самый крупный ансамбль будет доминировать и определять текущий момент сознания. Степень его охвата и, следовательно, степень сознания будет определяться множеством факторов, таких как сила сенсорных входов, ранее существовавшие связи (ассоциации) и степень конкуренции с вновь формирующимися ансамблями. Внутри ансамбля будут высвобождаться пептидные передатчики. Тип, количество и концентрация этих химических веществ являются уникальной сигнатурой данного нейронного ансамбля и

передают эту информацию другим системам организма через кровеносную систему. В свою очередь, химические вещества, высвобождаемые под контролем иммунной системы и жизненно важных органов, влияют на характер нейронных ансамблей. Такие вещества, как гормоны и амины, высвобождаются в ответ на возбуждение. Следовательно, сознание зависит от сплоченности всего организма

## Завтра

Проснувшись, вы не сумеете с уверенностью сказать, как долго вы спали, и вам вполне может показаться, что вы только что задремали на несколько мгновений или же, напротив, были в отключке на протяжении многих часов. И тут возникает вопрос: может ли тот факт, что сон подразумевает и отсутствие сенсорной стимуляции, и искаженное восприятие времени, означать, что они каким-то образом связаны?<sup>[343]</sup>

## Течение времени

Время – самый фундаментальный элемент нашей жизни. Но чем больше вы думаете о природе времени и его течении, тем непостижимее оно кажется. И если с первым вопросом действительно не все так просто, то единица измерения времени – секунда – определена четко. Это время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133. Однако даже это – произвольная градация.<sup>[344]</sup> С другой стороны, течение времени неоспоримо и является предметом всеобщего сожаления для всех нас, ведь по своей природе оно однонаправленно. И хотя Исаак Ньютон считал, что время существует как совершенно независимое явление, теперь физики рассматривают его в тесном взаимодействии с пространством.

Пробудившись ото сна или анестезии, вы не можете определить, как долго были без сознания. И даже когда вы бодрствуете, время может вести себя по-разному: «пролетать» незаметно, двигаться размеренно, «тянуться вечность», в зависимости от того, что вы делаете и нравится ли это вам. Восприятие времени субъективно и, следовательно, является неотъемлемой частью сознания. Подобно тому, как мы создаем собственный внутренний мир, мы создаем свое собственное течение времени. Излишне говорить, что квинтэссенция субъективности времени поддается дальнейшему разделению. С одной стороны, есть память, охватывающая периоды от секунды до нескольких месяцев,<sup>[345]</sup> для которой характерно ретроспективное восприятие времени, позволяющее выстраивать события в произвольном, а не хронологическом порядке. С другой стороны, существует непосредственное ощущение течения времени.<sup>[346]</sup> Непосредственное осознание на узком временном масштабе от миллисекунд до нескольких секунд, описанное в начале двадцатого века философом и психологом Э. Робертом Келли как «правдоподобное настоящее»,<sup>[347]</sup> иллюзия затянувшегося «сейчас». Допустим, когда в процессе разговора мы доходим до середины предложения, значит ли это, что мы уже закончили его начало и оно осталось в прошлом? Или же вся фраза – это часть «настоящего»? По мнению Келли, субъективное «настоящее» может охватывать некоторый промежуток времени, в течение которого складывается «момент сознания».

## Восприятие времени

С какой же стороны подступиться к изучению восприятия времени? Самая очевидная стратегия заключается в том, чтобы выяснить, есть ли в нейронных сетях мозга что-то особенное, обуславливающее эту способность. Но, учитывая имеющийся опыт, мы не должны возлагать какую-либо сложную функцию лишь на одну область мозга – мы вынуждены мыслить шире.

Одним из кандидатов выступает структура, располагающаяся в задней части мозга, – мозжечок. Ранее мы называли его «автопилотом» мозга, регулирующим сенсорные входы и выходы, координирующим движения. Также есть «базальные ганглии», ключевой мозговой контур, обеспечивающий регуляцию ряда двигательных и вегетативных функций. Он, опять же, очень чувствителен к времени. Еще один возможный претендент на роль – теменная кора. Это сложная структура, занимающая важное место в пространственном и временном ориентировании. Давно известно, что типичными симптомами повреждения теменной коры являются пространственная и временная дезориентация,<sup>[348]</sup> кроме того, эта область имеет большое значение для синхронизации слуховых и зрительных стимулов.<sup>[349]</sup> Также нельзя обойти вниманием лобную кору, которая связана с более сложным восприятием времени,<sup>[350]</sup> – ее повреждение может привести к развитию «исходной амнезии», являющейся не потерей памяти как таковой, а скорее стертостью воспоминаний об источнике знания без утраты его содержания.

Совершенно ясно, что одни аспекты восприятия времени сложнее других.<sup>[351]</sup> Однако само по себе перечисление элементов мозговой анатомии не поможет нам продвинуться дальше. Теперь мы должны сформировать представление об их коллективном взаимодействии.

Как и большинство сложных психических процессов, таких как зрение, восприятие времени не простая операция. Подобно тому как зрение обеспечивают порядка тридцати различных областей мозга, отвечающих за восприятия цвета, формы, движения и т. п., так и восприятие времени может быть разделено на различные аспекты, формирующие целостную картину. Например, продолжительность, скорость поступления и порядок входящих стимулов оказывают влияние на субъективное восприятие времени.<sup>[352]</sup>

Все нейробиологи, изучающие проблему восприятия времени,

сходятся во мнениях по крайней мере в одном: в мозге нет никаких централизованных часов. Американский невролог Дэвид Иглмен, ведущий специалист в этой области, утверждает, что время не является унитарным явлением, указывая на три примера, которые должны развеять представление, будто «время едино».<sup>[353]</sup> Первый заключается в том, что субъективная оценка длительности временных интервалов может ощутимо отличаться от их реальной продолжительности.<sup>[354]</sup> Всем нам знакомо это чувство: час, проведенный в зале ожидания аэропорта, кажется невыносимо долгим, в то время как час за просмотром любимого сериала пролетает совсем незаметно.

Теперь второе: если мы слышим особый звук в серии повторяющихся одинаковых звуков, промежутки времени между таким «особым» стимулом и предшествующим ему / следующим за ним нам кажутся более длинными, хотя на самом деле длительность всех промежутков одинакова. Это наблюдение снова демонстрирует, что восприятие времени не является единым процессом, а состоит из независимых нейронных операций, которые обычно подсознательно координируются, но могут быть явно дифференцированы в условиях эксперимента.<sup>[355]</sup>

Третий пример – увлекательный и необычный эксперимент, в котором течение времени для испытуемых целенаправленно «замедлялось»: добровольцы оказывались в ситуациях, кажущихся жуткими и угрожающими жизни. Многие из нас хоть однажды испытывают особенное ощущение – как будто время «спотыкается» и застывает на несколько мгновений. Такое случается в моменты крайней физической угрозы или когда мы получаем особенно плохие новости.

Участники одного эксперимента должны были шагнуть назад с вершины пятидесятиметровой башни и упасть в защитную сетку у ее подножия.<sup>[356]</sup> После этого добровольцев спрашивали, как долго, по их мнению, длилось падение. 36 % испытуемых сообщили, что падение показалось им более долгим по сравнению с наблюдаемыми падениями других участников эксперимента. Однако доказательств об обогащении опыта восприятия в процессе падения получено не было, поскольку испытуемые не смогли сообщить о каких-либо дополнительных деталях.

Из результатов этого эксперимента Иглман сделал вывод, что поскольку память характеризуется ретроспективным восприятием времени, то чем больше воспоминаний или ассоциаций возникает в связи с «пугающим» эпизодом, тем более продолжительным он кажется.

Такая «дилатация времени» – кажущееся растяжение промежутка

между двумя событиями – происходит в самых разных ситуациях в нашей повседневной жизни, но может быть обусловлена неким единым механизмом. Похоже, что приковывающие внимание стимулы обрабатываются дольше, что растягивает субъективную продолжительность времени.<sup>[357]</sup> Кроме того, восприятие времени пропорционально величине силы стимула: более мощные/яркие стимулы «растягивают» время.<sup>[358]</sup> Третий фактор – сильные эмоции:<sup>[359]</sup> в реальной жизни он проявляется, когда вы взволнованы, торопитесь или попадаете в другую неприятную или опасную ситуацию. Ключевым моментом здесь оказывается повышенное возбуждение.

Особым примером неравномерности восприятия времени является детство. Дети воспринимают мир в самом узком диапазоне – «здесь и сейчас». Возможно, поэтому один день для пятилетнего ребенка – это гораздо более значительный период, чем для тридцатипятилетнего взрослого. Для детей с синдромом дефицита внимания время проходит особенно медленно.<sup>[360]</sup> Это справедливо и для больных шизофренией,<sup>[361]</sup> для которых время уже не сливается в гладкий поток событий,<sup>[362]</sup> а состоит из разрозненных эпизодов, и каждый связан с эмоциональными переживаниями.

Эти данные свидетельствуют о том, что существует явная связь между различными факторами, касающимися восприятия времени: значимость возбуждения, эмоций, стимуляции и дефицита внимания. Все они включают, помимо прочего, чрезмерную активность дофаминовой системы.<sup>[363]</sup> Дофамин подавляет работу префронтальной коры,<sup>[364]</sup> что приводит, как мы уже знаем, к формированию «детской» модели восприятия, в которой вероятность более активного взаимодействия с внешним миром ведет к более непосредственной обработке информации<sup>[365]</sup> – как и в случае стрессовых ситуаций.

Наше субъективное ощущение времени также зависит от хода<sup>[366]</sup> и сложности<sup>[367]</sup> событий поэтому еще одна идея состоит в том, что мозг оценивает течение времени на основе фактического количества стимулов, обработанных мозгом. Это объяснило бы ощущение, которое возникает после пробуждения ото сна или анестезии, когда кажется, что время пролетело мгновенно. Так что именно количество поступающей информации определяет восприятие времени, а не наоборот.

Каждый входящий стимул имеет свои уникальные координаты в пространстве и времени. Интересно, что дети часто объединяют время и пространство<sup>[368]</sup> и не могут, например, понять, что быстрее не то же

самое, что дальше. Возможно, когда мозг обрабатывает важную входящую информацию, которая будет определять темпы последующего восприятия времени, пространственно-временные параметры рассматриваемого раздражителя играют значительную роль. Таким образом, восприятие времени с точки зрения нейронауки может определяться не одним явным параметром, а паттерном изменений, основанным на пространственно-временных характеристиках поступающей информации.

В этой идее нет новизны. Еще в 1915 году Эмиль Дюркгейм определил время и пространство как «жесткие рамки, которые окаймляют мысли», а в 1953 году невролог Макдональд Критчли отметил, что «чисто временная дезориентация, наступающая независимо от пространственной, является редким явлением – чаще они сопутствуют друг другу».

Эта идея непосредственно проиллюстрирована в увлекательном исследовании,<sup>[369]</sup> в котором испытуемые судили о течении времени, сталкиваясь с различными пространственными средами. В каждом эксперименте было три разных типа моделей: модели железной дороги, гостиной и абстрактные модели – каждая из них представлена в малом, «кукольном», и крупном масштабе. Меньший масштаб соотносился с ускорением субъективного течения времени.<sup>[370]</sup> Выявленная закономерность такова: чем крупнее масштаб, тем более продолжительным кажется временной отрезок.

Поскольку пространство и время так тесно связаны, это накладывает отпечаток на наше повседневное мироощущение. Обширные пространства – луга, озера и горы – могут создать эффект «растяжения» времени, как и грандиозные архитектурные сооружения, например соборы, поскольку такие места вызывают благоговение и спокойствие.<sup>[371]</sup> Но чтобы понять природу этих закономерностей, мы должны вернуться к поиску соответствующих механизмов в мозге.

## Нейронные ансамбли, пространство и время

Теперь мы возвращаемся к нейронным ансамблям: мы можем вновь использовать их как Розеттский камень, связывающий физиологию с феноменологией, и посмотреть, как восприятие времени соотносится с аллегорией о камне, брошенном в воду. Мы уже знаем, что восприятие времени обусловлено свойствами входящих стимулов и никогда – наоборот.

Когда время тянется медленно, это соответствует интенсивному обороту ансамблей, которые из-за высокой конкуренции остаются небольшими. Подобное характерно для стрессовых ситуаций, а кроме того, типично для детей и больных шизофренией. В этот же сценарий, как ни парадоксально, вписывается состояние скуки, когда время тянется, потому что ни один стимул не является достаточно мощным, чтобы вызывать генерацию крупных ансамблей.

Однако иногда время, напротив, проходит незаметно. Когда мы занимаемся чем-то, что полностью овладевает нашим вниманием, например читаем хороший роман, оборот ансамблей в этом случае оказывается очень медленным. Но самым экстремальным примером – с ним мы столкнулись в начале главы – будет ощущение, будто пролетело лишь одно мгновение, в то время как мы пробуждаемся ото сна или после глубокой анестезии.

Если вновь обратиться к аллегории с камнями и прудом, в игру вступит еще один фактор. Так же как важны интенсивность стимула (сила броска), его значимость (размер камня), готовность к восприятию (вязкость водоема), важен и оборот ансамблей в течение определенного периода времени. Он имеет ключевое значение для определения сценария, который связывает полученный опыт с каждым конкретным моментом сознания.

Активность любого отдельного нейронного ансамбля исчезает во времени и пространстве спустя несколько сотен миллисекунд, и именно таков ключевой порог, выявленный Бенджамином Либетом и его коллегами для формирования сознания.<sup>[372]</sup> Таким образом, ни один ансамбль не может быть прямым коррелятом текущего сознания. Но что, если затухание каждого конкретного ансамбля впоследствии становится важным фактором для создания чего-то более значительного и гораздо более обширного? Это «что-то еще» было бы своего рода единой, целостной сущностью, охватывающей пространство и время. Давайте же разберемся, как такая гипотетическая вещь – это «что-то еще» – может быть реализована.

Наиболее вероятный сценарий заключается в том, что во всем мозге происходит множественная генерация ансамблей, которые синергируют и суммируются в течение определенного периода времени.

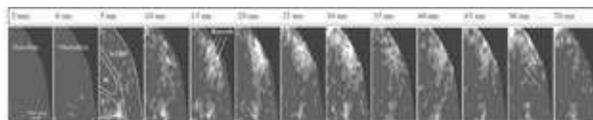
Такой эффект до сих пор не выявлен в живом мозге при помощи экспериментальных методов – не в последнюю очередь потому, что мы еще не сформулировали, что именно нужно искать. Но теоретическая наука могла бы по крайней мере помочь нам сформировать гораздо более четкую картину того, какие именно процессы в мозге вносят вклад в формирование сознания. Давайте подумаем, как можно моделировать гипотетические нейронные ансамбли. Или продвинемся еще дальше и попытаемся выяснить, как несколько ансамблей способны взаимодействовать друг с другом в течение заданного временного интервала. Но прежде нам нужно определить необходимый и достаточный набор элементов, которые сделают возможным существование хотя бы единичного ансамбля.

## Внутри ансамблей

Принято считать, что наименьшая функциональная структура для передачи информации в мозге – это синапс. Поэтому кажется естественным предположение, что динамика нейронного ансамбля будет определяться главным образом процессом синаптической передачи. Но если допустить, что ансамбль – лишь конгломерат синапсов, то общая картина была бы совсем иной, нежели та, что мы видим в реальности.

Границы ансамбля (см. рис. 2) простираются на расстояния, в несколько раз превышающие прогнозируемые согласно классическим представлениям о синаптической передаче.<sup>[373]</sup> Что касается времени, мы знаем, что для затухания активности в пределах ансамбля до 20 % от максимального уровня, требуется около 300 миллисекунд<sup>[374]</sup> и что потребуется еще больше времени, чтобы активность полностью исчезла.<sup>[375]</sup> Но помимо этого мы знаем, что временные рамки синаптической активности не превышают 20 мс.<sup>[376]</sup>

Наглядно иллюстрирует эти временные рамки рис. 7. Обратите внимание, что хотя передача сигнала от таламуса к коре путем классической синаптической передачи занимает всего пять миллисекунд на каждые два миллиметра, требуется еще двадцать миллисекунд, чтобы ансамбль распространился внутри коры.<sup>[377]</sup> Здесь вступают в игру два особых способа общения между клетками мозга: один имеет преимущество в виде большего масштаба (объемная передача), в то время как другой гораздо более минималистичный (щелевые контакты). Давайте кратко рассмотрим каждый из них.



**Рис. 7.** Нейронные ансамбли в срезе крысиного мозга, визуализированные с помощью потенциал-чувствительных красителей (Fermani, Badin&Greenfield). В то время как нормальная синаптическая передача занимает 5 мс на 2 мм от таламуса до коры, последующее формирование ансамбля занимает в четыре раза больше времени (для достижения радиуса 0, 5 мм)

Объемная передача обеспечивает менее специфичное и значительно

более медленное взаимодействие между нейронами, но ее преимущество состоит в том, что она затрагивает гораздо больше клеток. За последние тридцать лет этот прежде революционный механизм был тщательно исследован и теперь рассматривается как альтернатива классической синаптической передачи.<sup>[378]</sup>

Фактически с 1970-х годов известно, что классические передатчики, такие как дофамин, могут выделяться из участков нейрона, напоминающих ветви дерева (дендриты). Обычно дендриты выступают в роли акцепторной зоны нейрона – мишени для сигналов от других нейронов. Однако теперь известно, что дендриты могут выделять вещества сами по себе. Более того, высвобождение веществ из дендритов происходит достаточно интенсивно, и это дает нам основания полагать, что это принципиально новый эффективный способ модуляции.<sup>[379]</sup>

Третий процесс не связан с непосредственной передачей электрических сигналов через «щелевые контакты» – прямые контакты между нервными клетками.<sup>[380]</sup> Интересно, что в нейронных сетях очень быстрые колебания активности (200 Гц) возникают именно посредством распространения электрических сигналов.<sup>[381]</sup> И это широкое распространение активности осуществляется в том же масштабе, который характерен для ансамблей. Таким образом, ансамбли удовлетворяют пространственно-временным требованиям к сознанию, поскольку, в отличие от локализованных нейронных структур, они не являются ни устойчивыми во времени, ни пространственно ограниченными.

Эти три процесса, определяющие формирование, существование и затухание ансамбля, по всей вероятности, действуют согласованно. Но главный вопрос остается нерешенным: что происходит потом, что приводит к возникновению момента сознания? Ключ может скрываться во времени...

## Метаансамбли?

Разумеется, единичный ансамбль сам по себе не может стать основой сознания. Однако мы можем представить сценарий, согласно которому отдельные ансамбли возникают независимо. Правда, к тому времени как их активность естественным образом угасает, она, а точнее ее энергия, переносится в некий коллективный пул.

Концепция такого коллективного пула – назовем его метаансамблем – кажется весьма правдоподобной и интригующей по следующим причинам. Во-первых, мы знаем, что анестетики, которые, по определению, «отключают» сознание, значительно удлиняют активность отдельных ансамблей.<sup>[382]</sup> Во-вторых, временное окно примерно такой продолжительности обеспечивает раннюю пространственную дифференциацию различных паттернов для субъективной дифференциации сенсорных модальностей.<sup>[383]</sup> В-третьих, энергия должна быть сохранена в некоторой химической, электрической или тепловой форме. При повышении температуры давление увеличивается, и наоборот. Это может объяснить, почему повышенное давление и, следовательно, увеличение тепловой энергии приводит как к возвращению в сознание анестезированных животных,<sup>[384]</sup> так и к значительному увеличению размеров ансамблей.<sup>[385]</sup>

В какой бы форме ни осуществлялась эта крупномасштабная передача энергии, она будет ощутимо влиять на фоновую активность мозга.<sup>[386]</sup> Эта неравномерная, волнообразная активность чрезвычайно чувствительна к искажениям и способна порождать глобальные всплески, которые могут оказаться реальным и окончательным коррелятом момента сознания. Таким образом, любой нейронный ансамбль совместно с другими – даже находящимися в другой области мозга, проявляющими активность в пределах тех же самых временных рамок – теперь может стать гигантским камнем в гораздо более крупном водоеме, сформировав метаансамбль.

Но как выявить расположение и измерить параметры такого метаансамбля? Ведь мы знаем, что о четко определенном анатомическом расположении речи быть не может. Скорее, мы должны предусмотреть форму интеграции крупномасштабных, пространственно ограниченных нейронных коалиций, которые могут возникать в пределах временного окна продолжительностью в несколько сотен миллисекунд, то есть в виде своего рода нейронного «пространственно-временного многообразия». Поскольку

многообразие является математическим понятием, которое объединяет пространство и время в едином континууме, рассматривая время как четвертое измерение, нейронный метаансамбль будет описан в конечном итоге скорее физиками-теоретиками, чем нейробиологами. В конце концов, объединив пространство и время в единый континуум, физики уже смогли разработать общие базовые принципы и единообразно описать многие процессы на уровнях от галактического до субатомного.<sup>[387]</sup>

Однако если наша гипотеза окажется верна, тогда мы будем освобождены от мучившей нас задачи «прикрепить» сознание к тем или иным областям мозга. Более того, если время, равно как и пространство, теперь является ключевым фактором, такой сценарий может учитывать нюансы, которые мы изучали в предыдущих главах, – дифференциацию каналов восприятия и расхождения в пространстве-времени и даже загадочное субъективное восприятие течения времени.

Энергия нейрональной активности каким-то образом преобразуется в момент сознания. И это «каким-то образом» – конечно, самая сложная загадка, которая наконец заводит нас в тупик. Даже если бы при помощи строгих и точных математических методов мы могли моделировать не только ансамбли, доступные глазу, но и невидимый теоретический метаансамбль, который действительно стал бы окончательным и точным коррелятом сознания, – даже тогда мы остались бы в тупике, не имея возможности выявить причинно-следственную связь, отследить путь превращения объективных физических явлений в нечто субъективное и личное. «Трудная проблема сознания» осталась бы нерешенной.

Но действительно ли это то место, где мы должны остановиться? Пока нет представления, какой ответ бы нас удовлетворил, почти невозможно даже на самом отвлеченном математическом уровне вообразить какой бы то ни было ответ, выходящий за пределы корреляций причинности. Некоторые люди, как и мой, увы, ныне покойный отец, которому посвящена эта книга, склонны утверждать, что «невозможно ножом из масла резать масло». Иными словами, что мозг не способен деконструировать себя. Почему бы тогда не сдаться и не работать над чем-то более практичным и приближенным к реальности, что к тому же привлечет грантовое финансирование?

Но не стоит унывать. Есть веские причины прямо сейчас устремиться к нашим интеллектуальным пределам. По пути, даже если нам придется пока оставить в стороне загадку превращения воды в вино, нейронаука способна внести ценный вклад в философию, психиатрию, психологию, физику и математику. Если мы объединим наши усилия в

междисциплинарных исследованиях и задействуем воображение до предела, то, возможно, понимание чуда субъективного сознания, в итоге перестанет быть таким недостижимым... В конце концов, завтра будет новый день.

---

---

**notes**

## **Примечания**

Сергин В. Я. Психофизиологические механизмы осознания: гипотеза самоотождествления // Журнал высшей нервной деятельности, 1998. Т. 48. Вып. 3. С. 558–570.

Яхно В. Г., Макаренко Н. Г. Поможет ли нам создание «Цифрового двойника человека» лучше понимать друг друга?//В кн. Подходы к моделированию мышления./Под ред. В. Г. Редько. М.: ЛЕНАНД. 2014. С. 169–202.

Blakemore, C.&Greenfield, S. A. Mindwaves: Thoughts on Intelligence, Identity and Consciousness (1987).

Crick, F.&Koch, G. "A framework for consciousness". *Nature Neuroscience*, 6, 119–26 (2003)

Gazzaniga, M. S. "Forty-five years of split-brain research and still going strong". *Nature Reviews Neuroscience*, 6, 653–9 (2005).

Weiskrantz, L. "Blindsight revisited". *Current Opinion in Neurobiology*, 6, 215–20 (1996).

Chun, M. M. & Wolfe, J. M. "Visual attention" in *Blackwell Handbook of Perception* (2000).

Naccache, L, Blandin, E.&Dehaene, S. 'Unconscious masked priming depends on temporal attention'. *Psychological Science*, 13, 416–24 (2002). Jiang, Y. et al. "A gender-and sexual-orientation-dependent spatial attentional effect of invisible images". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103, 17048–52 (2006).

Mack, A.&Rock, I. "Inattention blindness". *MIT Press Cambridge*, 12, 180–4 (1998).

Li, F. F. et al. "Rapid natural scene categorization in the near absence of attention". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99, 9596–601 (2002).

Reddy, L, Reddy, L.&Koch, C. "Face identification in the near-absence of focal attention". *Vision Research*, 46, 2336–43 (2006).

Первоначально сюжет возник в британском комиксе *The Beezer*, а затем в *The Beano* и *The Dandy*, опубликованных D. C. Thomson&Co.

Penfield, W.&Jasper, H. *Epilepsy and the Functional Anatomy of the Human Brain*. (Little, Brown&Co., 1954). Пенфилд У., Джаспер Г. Г. Эпилепсия и функциональная анатомия головного мозга человека. М.: Издательство иностранной литературы, 1958.

Merker, B. 'Consciousness without a cerebral cortex: a challenge for neuroscience and medicine'. *Behavioral and Brain Sciences*, 30, 63–81; discussion 81 -134 (2007); Panksepp, J.&Biven, L. *Archaeology of Mind: Neuroevolutionary Origins of Human Emotions*. (W. W. Norton, 2012).

Hudetz, A. G. "General anesthesia and human brain connectivity". *Brain Connectivity*, 2, 291–302(2012).

Хотя упоминания этой аллегии встречаются часто, единственным достоверным источником является учебник «Психология в медицине», опубликованный в 1992 году и в наши дни доступный только в электронном виде: <http://www.ucl.ac.uk/medical-education/publications/psychology-in-medicine>

Совсем недавно концепция отдельного пространства для сознания снова заявила о себе. Мохамад Кубейсси и его коллеги оперировали мозг пациента с тяжелой формой эпилепсии, состояние которого вынудило врачей прибегнуть к инвазивной нейрохирургии. По воле случая они обнаружили, что стимуляция определенной области (claustrum) обратимо погружала пациента в бессознательное состояние (после прекращения стимуляции он вернулся в нормальное состояние). Казалось, ученые обнаружили если не место, где «сосредоточено» сознание, то, по крайней мере, центр управления, о котором размышлял некоторое время назад Фрэнсис Крик. Неудивительно, что от этой идеи при дальнейшем анализе пришлось отказаться из-за множества проблем и несостыковок. Первая из них просто техническая: в исследовании отсутствует необходимое количество повторений, участвовал всего один испытуемый, имеющий к тому же аномалии функционирования мозга. Таким образом, критерий достоверности исследования не выполняется. Кроме того, поскольку полностью здоровые люди никогда не будут подвержены инвазивной хирургии головного мозга, даже при наличии удовлетворительной выборки мы все равно не сможем утверждать, что выводы верны применительно к здоровому мозгу. Вторая проблема заключается в опасности ошибочной интерпретации. Как мы можем сказать наверняка, что наблюдаемый эффект уникален, пока не повторим опыт на множестве других участков мозга? Третья проблема вращается вокруг того, как мы определяем сознание. Пациент в исследовании Кубейсси не был без сознания в том же смысле, как и если бы он находился под воздействием общей анестезии или спал: скорее, стимуляция привела к «полному отключению волевого поведения и невосприимчивости», что больше похоже на транс. Четвертая проблема связана с чрезмерной зависимостью от метафоры при интерпретации данных. Фрэнсис Крик, чьи идеи якобы подтверждены данным исследованием, сравнивал claustrum с «дирижером в оркестре», координирующим все другие области мозга. Но что это на самом деле означает? Если эта область мозга находится на каком-то анатомическом перекрестке, то почему она должна непременно нести исполнительные функции, а не быть неким координатором или даже просто каналом связи? Koubeissi, M. Z. et al. "Electrical stimulation of a small brain area reversibly disrupts consciousness". *Epilepsy and Behavior*, 37, 32–5 (2014). Stevens, C F.

'Consciousness: Crick and the claustrum". *Nature*, 435, 1040–1 (2005). Bagary, M. 'Epilepsy, consciousness and neurostimulation'. *Behavioural Neurology*, 24, 75–81 (2011).

Haynes, J.&Rees, G. "Decoding mental states from brain activity in humans". *Nature Reviews Neuroscience* 7, 523–34 (2006).

Blakemore, C.&Greenfield, S. A., Hacker Peter eds., Ch. 31 in *Mindwaves: Thoughts on Intelligence, Identity and Consciousness*, 485–505 (1987).

Maguire, E. A. et al. "Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97, 4398–403 (2000).

García-Lázaro, H. G. et al. "Neuroanatomy of episodic and semantic memory in humans: a brief review of neuroimaging studies". *Neurology India*, 60, 613–17; см. также Squire, L R. "Memory and brain systems: 1969–2009". *Journal of Neuroscience*, 29, 12711–16 (2009).

Alkire, M. T. et al. "Thalamic microinjection of nicotine reverses sevoflurane-induced loss of righting reflex in *the rat*". *Anesthesiology*, 107, 264–72 (2007).

Posner, J. B. & Plum, F. *Plum and Posner's Diagnosis of Stupor and Coma*. (Oxford University Press, 2007); Miller, J. W. & Ferrendelli, J. A. 'The central medial nucleus: thalamic site of seizure regulation'. *Brain Research*, 508, 297–300 (1990); and Miller, J. W. & Ferrendelli, J. A. 'Characterization of GABAergic seizure regulation in the midline thalamus'. *Neuropharmacology*, 29, 649–55 (1990).

Alkire, M. T., Haier, R. J. & Fallon, J. H. 'Toward a unified theory of narcosis: brain imaging evidence for a thalamocortical switch as the neurophysiologic basis of anesthetic-induced unconsciousness'. *Consciousness and Cognition*, 9, 370–86 (2000).

Tononi, G. "An information integration theory of consciousness". *BMC Neuroscience*, 5, 42–64 (2004); Massimini, M. et al. "Triggering sleep slow waves by transcranial magnetic stimulation". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 8496–501 (2007).

Mann, E. O. et al. "Perisomatic feedback inhibition underlies cholinergically induced fast network oscillations in the rat hippocampus in vitro". *Neuron*, 45, 105–17 (2005). Fisahn, A. et al. "Cholinergic induction of network oscillations at 40Hz in the hippocampus in vitro". *Nature*, 394, 186–9 (1998).

Singer, W. "Neuronal synchrony: a versatile code for the definition of relations?" *Neuron*, 24, 49–65, 111–25 (1999); см. также Singer, W.&Gray, C. M. 'Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis'. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 555–86 (1995); and Tononi, G., Sporns, O.&Edelman, G. M. "Re-entry and the problem of integrating multiple cortical areas: simulation of dynamic integration in the visual system". *Cerebral Cortex*, 2, 310–35 (1992).

Wu, J. Y. et al. "Spatiotemporal properties of an evoked population activity in rat sensory cortical slices". *Journal of Neurophysiology*, 86, 2461 -74 (2001).

Koubeissi et al., 2014.

Tononi, G.&Koch, C. The neural correlates of consciousness: an update  
"Annals of the New York Academy of Sciences, 1124, 239–61 (2008).

Bachmann, T. *Microgenetic Approach to the Conscious Mind*. (John Benjamins, 2000).

Sergent, C., Baillet, S.&Dehaene, S. "Timing of the brain events underlying access to consciousness during the attentional blink". *Nature Neuroscience*, 8, 1391 -400 (2005).

Libet, B. *Mind Time: The Temporal Factor in Consciousness*. (Harvard University Press, 2004).

Edelman, G. M. *The Remembered Present: A Biological Theory of Consciousness*. (Basic Books, 1989).

Rossi, A. R, Desimone, R.&Ungerleider, L G. "Contextual modulation in primary visual cortex of macaques". *Journal of Neuroscience*, 21, 1698–709 (2001).

Todman, D., Wilder Penfield (1891–1976)". *Journal of Neurology*, 255, 1104–5 (2008).

Quiroga, R. et al. "Invariant visual representation by single neurons in the human brain". *Nature*, 435, 1102–7 (2005).

Kandel, E. R. "An introduction to the work of David Hubel and Torsten Wiesel". *Journal of Physiology*, 587, 2733–41 (2009).

Gross, C. G. 'Genealogy of the "grandmother cell"'. *Neuroscientist*, 8, 512–18 (2002); см. также Jagadeesh, B. 'Recognizing grandmother'. *Nature Neuroscience*, 12, 1083–5(2009).

Quiroga, R. Q., Fried, I. & Koch, C. 'Brain cells for grand mother. *Scientific American*, 308, 30–5(2013).

Biederman, I. 'Recognition-by-components: a theory of human image understanding'. *Psychological Review*, 94, 115–47 (1987); Marr, D.&Nishihara, H. K. 'Representation and recognition of the spatial organization of three-dimensional shapes'. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 200, 269–94 (1978); Vetter, T., Hurlbert, A.&Poggio, T. 'View-based models of 3D object recognition: invariance to imaging transformations'. *Cerebral Cortex*, 5, 261 -9 (1995); and Logothetis, N. K.&Pauls, J. 'Psychophysical and physiological evidence for viewer-centered object representations in the primate'. *Cerebral Cortex*, 5, 270–88 (1995).

Connor, C. E. 'Neuroscience: friends and grandmothers'. *Nature*, 435, 1036–7 (2005).

Их идея заключалась в том, что принципы квантовой физики могли бы обуславливать альтернативный процесс генерации сознания, который включал бы различные гипотетические вероятности, сокращаемые эмпирическим наблюдением вплоть до одной-единственной (коллапс волновой функции). В одной из версий квантовой теории (Копенгагенской интерпретации, которая пытается соотнести теоретические формулировки квантовой механики с соответствующими экспериментальными данными) сам акт наблюдения заставляет систему пребывать в одном из различных потенциальных состояний – это так называемое «субъективное сокращение». Но в мозге, поскольку нет внешнего наблюдателя, квантовые события должны определяться спонтанно. Cramer, J. 'The transactional interpretation of quantum mechanics'. *Review of Modern Physics*, 58 647–87 (1986). <http://ru.laser.ru/transaction/tiqm/index.html>

Hameroff S.&Penrose, R. 'Consciousness in the universe: a review of the "Orch OR" theory'. *Physics of Life Reviews*, 11, 39–78 (2014).

Bernroider, G.&Roy, S. 'Quantum entanglement of K<sup>+</sup> ions, multiple channel states and the role of noise in the brain'. SPIE Third International Symposium on Fluctuations and Noise (eds. Stocks, N. G., Abbott, D.&Morse, R. P.) 205–14 (International Society for Optics and Photonics, 2005). Engel, G.S.et al. 'Evidence for wavelike energy transfer through quantum coherence in photosynthetic systems'. *Nature*, 446, 782–6 (2007). Frohlich, H. 'The extraordinary dielectric properties of biological materials and the action of enzymes'. *Proceedings of the Natural Academy of Sciences of the United States of America*, 72, 4211 -15 (1975). Grinvald, A. et al. 'Cortical point-spread function and long-range lateral interactions revealed by real-time optical imaging of macaque monkey primary visual cortex'. *Journal of Neuroscience*, 14, 2545–68 (1994). Gauger, E. M. et al. 'Sustained quantum coherence and entanglement in the avian compass'. *Physical Review Letters*, 106, 040503 (2011). Hildner, R. et al. 'Quantum coherent energy transfer over varying pathways in single light-harvesting complexes'. *Science*, 340, 1448–51 (2013). Libet, B., Wright, E. W.&Gleason, C A. 'Preparation-orientation-to-act in relation to pre-event potentials recorded at the vertex'. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 56, 367–72 (1983). Ouyang, M.&Awschalom, D. D. 'Coherent spin transfer between molecularly bridged quantum dots'. *Science*, 301, 1074–8 (2003). Pokorny, J. 'Excitation of vibrations in microtubules in living cells'. *Bioelectrochemistry*, 63, 321–6 (2004). Turin, L. A spectroscopic mechanism for primary olfactory reception'. *Chemical Senses*, 21, 773–91 (1996).

Woolf, N. J. 'A possible role for cholinergic neurons of the basal forebrain and pontomesencephalon in consciousness'. *Consciousness and Cognition*, 6, 574–96 (1997).

Dennett, D. C. 'Are we explaining consciousness yet? *Cognition*, 79, 221–37 (2001); Dennett, D. C. *Consciousness Explained*. (Basic Books, 1991).

Здесь речь идет о панпсихизме – представлении о всеобщей одушевленности природы: для ознакомления с современным взглядом на это древнее мировоззрение см., например, работы Дэвида Чалмерса: <http://consc.net/papers/panpsychism.pdf>

Tononi, 2004. См. также E. Tononi, 'Integrated information theory of consciousness: an updated account'. *Archives Italiennes Biologie*, 150, 290–326 (2012).

Тонони вводит термин «фи» в качестве меры этой интегрированной информации: локальные группы нейронов в ключевых областях мозга будут максимизировать значение  $\rho_i$  в течение периода времени от десяти до нескольких сотен миллисекунд. Таким образом, таламокортикальная система приводится в качестве примера «высокой» фи.

McGinn, C. *The Mysterious Flame: Conscious Minds in a Material World*. (Basic Books, 1999).

Kurzweil, R. *How to Create a Mind: The Secret of Human Thought Revealed*. (Viking, 2012).

<https://gigaom.com/2014/06/25/googles-ray-kurzweil-on-the-moment-when-computers-will-become-conscious/>

Bergquist, F.&Ludwig, M. 'Dendritic transmitter release: a comparison of two model systems'. *Journal of Neuroendocrinology*, 20, 677–86 (2008).

McGinn, C. *The Mysterious Flame: Conscious Minds in a Material World*. (Basic Books, 1999).

Chalmers, D. J. 'The puzzle of conscious experience'. *Scientific American*, 273, 80–6 (1995); см. также Chalmers, D. J. 'Facing up to the problem of consciousness'. *Journal of Consciousness Studies*, 2, 200–19 (1995).

Тета-волны имеют характерную амплитуду 10 микровольт и частоту от 4 до 8 циклов в секунду. Lancel, M. 'Cortical and subcortical EEG in relation to sleep-wake behavior in mammalian species'. *Neuropsychobiology*, 28(3), 154–9 (1993). Bajar E.&Guntekin B. 'Review of delta, theta, alpha, beta and gamma response oscillations in neuropsychiatric disorders'. *Supplements to Clinical Neurophysiology*, 62, 303–41 (2013).

Продолжительность REM-сна увеличивается с 10 минут в первом цикле до 50 минут в последнем. Purves, D. et al. (eds.) *Neuroscience*. (Sinauer, 2012).

Purves, D. et al. (eds.) *Neuroscience*. (Sinauer, 2012).

Дофамин, норадреналин, гистамин, серотонин и ацетилхолин уже давно принято считать «классическими» передатчиками, выделяющимися в области пресинаптической аксональной терминали, чтобы пересечь узкую щель (синапс) и попасть на терминаль клетки-мишени. Там передатчик осуществляет молекулярное рукопожатие со своим специализированным рецепторным белком, после чего клетка генерирует новый потенциал действия. Kandel, E., Schwartz, James H. & Jessell, T., *Principles of Neural Science*, 5th edn (Elsevier, 2012).

Aston-Jones, G.&Bloom, F. E. 'Activity of norepinephrine-containing locus coeruleus neurons in behaving rats anticipates fluctuations in the sleep-waking cycle'. *Journal of Neuroscience*, 1, 876–86 (1981); Kocsis, B. et al. 'Serotonergic neuron diversity: identification of raphe neurons with discharges time-locked to the hippocampal theta rhythm'. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103, 1059–64 (2006); and Steininger, T. L. et al. 'Sleep-waking discharge of neurons in the posterior lateral hypothalamus of the albino rat'. *Brain Research*, 840, 138–47 (1999); and Takahashi, K., Lin, J.-S.&Sakai, K. 'Neuronal activity of histaminergic tuberomammillary neurons during wake-sleep states in the mouse'. *Journal of Neuroscience*, 26, 10292–8 (2006); Takahashi, K. et al. 'Locus coeruleus neuronal activity during the sleep-waking cycle in mice'. *Neuroscience*, 169, 1115–26 (2010); Jacobs, B. L.&Fornal, C. A. Activity of brain serotonergic neurons in the behaving animal'. *Pharmacological Reviews*, 43, 563–78 (1991).

Hobson, J. A. 'Sleep and dreaming: induction and mediation of REM sleep by cholinergic mechanisms'. *Opinion in Neurobiology*, 2, 6, 759–63 (Dec. 1992).

Lee, S. H.&Dan, Y. 'Neuromodulation of brain states'. *Neuron*, 76, 109–222 (2012).

Greenfield, S. A. *The Private Life of the Brain* (Penguin, 2000). Cole, A. E. & Nicoll, R. A. Acetylcholine mediates a slow synaptic potential in hippocampal pyramidal cells'. *Science*, 221, 1299–301 (1983); McCormick, D. A. & Prince, D. A. Mechanisms of action of acetylcholine in the guinea-pig cerebral cortex in vitro'. *Journal of Physiology*, 375, 169–94 (1986).

Между тем возможен четвертый этап. Если анестезирующего препарата введено слишком много, клетки мозга в его древней примитивной части, расположенной чуть выше спинного мозга, оставаясь живыми, тем не менее прекратят генерацию потенциалов действия. Поскольку эти клетки контролируют дыхание и сердечный ритм, вы, таким образом, перестанете дышать, а ваше кровяное давление упадет до опасно низких значений, что будет препятствовать кровоснабжению жизненно важных органов. Иными словами, вы можете умереть. Однако современные препараты и методы анестезиологии сводят вероятность такого развития событий к нулю.

Pandit, J. J.&Cook, T. M. 'National Institute for Clinical Excellence guidance on measuring depth of anaesthesia: limitations of EEG-based technology'. *British Journal of Anaesthesia*, 112, 385–6 (2014).

Barrett, A. B. et al. 'Granger causality analysis of steady-state electroencephalographic signals during propofol-induced anaesthesia'. *PLoS One*, 7 (2012). Cruse, D. et al. 'Detecting awareness in the vegetative state: electroencephalographs evidence for attempted movements to command'. *PLoS One*, 7, e49933 (2012). Goldfine, A. M. et al. 'Reanalysis of "Bedside detection of awareness in the vegetative state: a cohort study"'. *Lancet*, 381, 289–91 (2013). Lee, U. et al. 'Disruption of frontal-parietal communication by ketamine, propofol and sevoflurane'. *Anesthesiology*, 118, 1264–75 (2013). Mashour, G. A. & Avidan, M. S. 'Capturing covert consciousness'. *Lancet*, 381, 271–2 (2013). Menon, R. & Kim, S. 'Spatial and temporal limits in cognitive neuroimaging with fMRI'. *Trends in Cognitive Science*, 3, 207–16 (1999). Nicolaou, N., Hourris, S., Alexandrou, P. & Georgiou, J. 'EEG-based automatic classification of «awake» versus «anesthetized» state in general anesthesia using Granger causality'. *PLoS One*, 7, e33869 (2012).

Stiles, J.&Jernigan, T. L. 'The basics of brain development'.  
*Neuropsychology Review*, 20, 327–48 (2010).

Greenfield, S. A. *Journey to the Centres of the Mind*. (W. H. Freeman, 1995); Greenfield, S. A. *The Private Life of the Brain: Emotions, Consciousness and the Secret of the Self*. (Wiley, 2000). Koch, C&Greenfield, Susan. 'How does consciousness happen? *Scientific American*, 297, 76–83 (2007).

Tononi, G.&Koch, C 'The neural correlates of consciousness: an update'.  
*Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124, 239–61 (2008).

Например, при использовании галотановой анестезии более 10 анатомических областей мозга демонстрируют снижение метаболизма глюкозы. Alkire, M. T. et. al. 'Functional brain imaging during anesthesia in humans: effects of halothane on global and regional cerebral glucose metabolism' *Anestthesthesiology*, 90, 701–9 (1999).

Lewis, L. D. et al. 'Rapid fragmentation of neuronal networks at the onset of propofol-induced unconsciousness'. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, E3377–86 (2012).

Massimini, M. et al. Triggering sleep slow waves by transcranial magnetic stimulation'. *Proceedings of the Natural Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 8496–501 (2007).

Spatz, H. C. 'Hebb's concept of synaptic plasticity and neuronal cell assemblies'. *Behavioural Brain Research*, 78, 3–7 (1996).

Hebb, 1949.

Grinvald, A. et al. 'Cortical point-spread function and long-range lateral interactions revealed by real-time optical imaging of macaque monkey primary visual cortex'. *Journal of Neuroscience*, 14, 2545–68 (1994). Cohen, L B. et al. Changes in axon fluorescence during activity: molecular probes of membrane potential'. *Journal of Membrane Biology*, 19, 1–36 (1974). Waggoner, A. S.&Grinvald, A. 'Mechanisms of rapid optical changes of potential sensitive dyes'. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 303, 217–41 (1977). Waggoner, A. S. 'The use of cyanine dyes for the determination of membrane potentials in cells, organelles and vesicles'. *Methods in Enzymology*, 55, 689–95 (1979). Fluhler, E, Burnham, V. G.&Loew, L. M. 'Spectra, membrane binding and potentiometric responses of new charge shift probes'. *Biochemistry*, 24, 5749–55 (1985). Ebner J. J.&Chen, G. 'Use of voltage-sensitive dyes and optical recordings in the central nervous system'. *Progress in Neurobiology*, 46, 463–506 (1995). Fromherz, P.&Lambacher, A. 'Spectra of voltage-sensitive fluorescence of styryl-dye in neuron membrane'. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1068, 149–56 (1991).

Тем не менее VSDI сам по себе не может обнаруживать единичные потенциалы действия: пространственное разрешение метода составляет около 100x100x100 микрометров, охватывая от нескольких десятков до нескольких сотен нейронов. С другой стороны, технология VSDI, хотя и нуждается во вспомогательных методах, идеально подходит для выявления мезомасштабного уровня организации мозга. Grinvald, A. et al. 'Cortical point-spread function and long-range lateral interactions revealed by real-time optical imaging of macaque monkey primary visual cortex'. *Journal of Neuroscience*, 14, 2545–68 (1994). Arieli, A.&Grinvald, A/Optical imaging combined with targeted electrical recordings, microstimulation or tracer injections'. *Journal of Neuroscientific Methods*, 116, 15–28 (2002). Tominaga, T. et al. 'Quantification of optical signals with electrophysiological signals in neural activities of di-4-ANEPPS stained rat hippocampal slices'. *Journal of Neuroscientific Methods*, 102, 11–23 (2000).

Это определение ансамблей принято не повсеместно: термин использовался для самых разных явлений, например, как синоним кортикальных колонок, которые являются «анатомически хорошо оформленными примерами нейронных сетей». Krueger J. M. et al. 'Sleep as a fundamental property of neuronal assemblies'. *National Review of Neuroscience*, 9(12): 910–19 (2008).

Devonshire, I. M. et al. 'Effects of urethane anaesthesia on sensory processing in the rat barrel cortex revealed by combined optical imaging and electrophysiology'. *European Journal of Neuroscience*, 32, 786–97 (2010).

Grinvald et al. 1994.

Там же.

Если предполагать, что средний диаметр клетки мозга составляет около 40 мкм и что от 5 до 10 % общего объема мозга представлено жидкостью, окружающей эти клетки, тогда, если активность распространяется в виде сферы, при ее пиковом значении (примерно на 10 мс) ею будет охвачено около 1, 06 млрд нейронов. Конечно, трехмерную форму невозможно оценить в ходе эксперимента на двумерном срезе. И даже будь это так, не было бы причин утверждать, что форма непременно окажется сферической. Но главное, что таким образом вы, по крайней мере, можете получить представление о количестве вовлеченных нейронов. Stoeckel, L. E. et al. 'Optimizing real-time fMRI neurofeedback for therapeutic discovery and development'. *NeuroImage: Clinical*, 5, 245–55 (2014).

Llinas, R.&Sasaki, K. 'The functional organization of the olivocerebellar system as examined by multiple purkinje cell recordings. *European Journal of Neuroscience*, 1, 587–602(1989).

Wu, J. Y., Xiaoying Huang & Chuan Zhang. 'Propagating waves of activity in the neocortex: what they are, what they do'. *Neuroscientist*, 14, 487–502 (2008).

Greenfield, S. A. & Collins, T. F. T. 'A neuroscientific approach to consciousness'. *Progress in Brain Research*, 150, 11–23 (2005).

Blumenfeld, H. 'Consciousness and epilepsy: why are patients with absence seizures absent? *Progress in Brain Research*, 150, 271–86 (2005); Penfield, W.&Jasper, H. *Epilepsy and the Functional Anatomy of the Human Brain* (Little, Brown&Co., 1954). Пенфилд У., Джаспер Г. Г. Эпилепсия и функциональная анатомия головного мозга человека. М.: Издательство иностранной литературы, 1958.

Davies, D. L.&Alkana, R. L. 'Benzodiazepine agonist and inverse agonist coupling in GABAA receptors antagonized by increased atmospheric pressure'. *European Journal of Pharmacology*, 469, 37–45 (2003); Johnson, F. H.&Flagler, E. A. 'Hydrostatic pressure reversal of narcosis in tadpoles'. *Science*, 112, 91–2 (1950); Johnson, F. H.&Flagler, E. A. Activity of narcotized amphibian larvae under hydrostatic pressure'. *Journal of Cellular Physiology*, 37, 15–25 (1951).

Włodarczyk, A., McMillan, P. F. & Greenfield, S. A. 'High pressure effects in anaesthesia and narcosis'. *Chemical Society Reviews*, 35, 890–8 (2006).

Аналогичные эффекты могут возникать и на уровне отдельной клетки. Они хорошо описаны в работах Д. Уайта и Г. Х. Гуландса в конце 1960-х и начале 1970-х годов. White, D. C.&Halsey, M. J. 'Effects of changes in temperature and pressure during experimental anaesthesia'. *British Journal of Anaesthesia*, 46, 196–201 (1974).

Alkire et al., 1999.

Devonshire et al., 2010.

Collins et al., 2007.

Włodarczyk, McMillan&Greenfield, 2006.

Devonshire et al., 2010.

Bryan, A. et al. 'Functional electrical impedance tomography by evoked response: a new device for the study of human brain function during anaesthesia'. *Proceedings of the Anaesthetic Research Society Meeting*, 428–9 (2010).

Там же.

Loh, K. K.&Kanai, R. 'Higher media multi-tasking activity is associated with smaller gray-matter density in the anterior cingulate cortex'. *PLoS One*, 9, e106698 (2014).

Schaefer, S. et al. 'Cognitive performance is improved while walking: differences in cognitive-sensorimotor couplings between children and young adults'. *European Journal of Developmental Psychology*, 7, 371–89 (2010).

Berman, M. G., Jonides, J.&Kaplan, S. 'The cognitive benefits of interacting with nature'. *Psychological Science*, 19, 1207–12 (2008).

Там же.

Atchley, R. A., Strayer, D. L. & Atchley, P. 'Creativity in the wild: improving creative reasoning through immersion in natural settings'. *PLoS One*, 7, e51474 (2012).

Stourton, *E. Diary of a Dog Walker: Time Spent Following a Lead*. (Doubleday, 2011).

Wells, M. J.&Young, J. Z. 'The effect of splitting part of the brain or removal of the median inferior frontal lobe on touch learning in octopus'. *Journal of Experimental Biology*, 50, 515–26 (1969); Wells, M. J.&Young, J. Z. The median inferior frontal lobe and touch learning in the octopus'. *Journal of Experimental Biology*, 56, 381–402(1972).

Sutherland, N. S. 'Shape discrimination in rat, octopus and goldfish: a comparative study'. *Journal of Comparative Physiological Psychology*, 67, 160–76 (1969).

Moriyama, T.&Gunji, Y.-R 'Autonomous learning in maze solution by octopus'. *Ethology*, 103, 499–513 (1997).

Fiorito, G.&Scotto, P. 'Observational learning in Octopus vulgaris'. *Science*, 256, 545–7(1992).

Giuditta, A. et al. 'Nuclear counts in the brain lobes of *Octopus vulgaris* as a function of body size'. *Brain Research*, 25, 55–62 (1971).

Herculano-Houzel, S. 'The human brain in numbers: a linearly scaled-up primate brain'. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3, 31 (2009).

Juorio, A. V. 'Catecholamines and 5-hydroxytryptamine in nervous tissue of cephalopods'. *Journal of Physiology*, 216, 213–26 (1971).

Diamond, M. C, Krech, D.&Rosenzweig, M. R. The effects of an enriched environment on the histology of the rat cerebral cortex'. *Journal of Comparative Neurology*, 123, 111–20 (1964).

Положительные эффекты обогащенной среды: увеличение размеров нейронов; увеличение общего веса головного мозга; увеличение толщины коры; возрастание количества дендритных шипиков (крошечных выступов на дендритах, которые реализуют очень специфические контакты); и увеличение числа глиальных клеток, обеспечивающих благоприятную среду для нейронов.

Valero, J. et al., 'Short-term environmental enrichment rescues adult neurogenesis and memory deficits in APPSw, Ind transgenic mice'. *PLoS One*, 6, 2 (2011).

Speisman, R. B. et al. 'Environmental enrichment restores neurogenesis and rapid acquisition in aged rats'. *Neurobiology of Aging*, 34, 263–74 (2013).

van Dellen, A. et al. 'Delaying the onset of Huntington's in mice'. *Nature*, 404, 721–2(2000).

Young, D. et al. 'Environmental enrichment inhibits spontaneous apoptosis, prevents seizures and is neuroprotective'. *Nature Medicine*, 5, 448–53 (1999); см. также Johansson, B. B. 'Functional outcome in rats transferred to an enriched environment 15 days after focal brain ischemia'. *Stroke*, 27, 324–6 (1996).

Amaral, O. B. et al. 'Duration of environmental enrichment influences the magnitude and persistence of its behavioral effects on mice'. *Physiology&Behavior*, 93, 388–94 (2008).

Похоже, что обогащение окружающей среды может также иметь более тонкие эффекты. Норки, содержащиеся в небогатых клетках, дольше взаимодействовали с новыми объектами, независимо от того, являлись ли они неприятными, привлекательными или же нейтральными, чем норки и прежде содержащиеся в обогащенных средах. Казалось, что это результат «скуки», которой долгое время были подвержены животные. Но нам нужно быть осторожными в интерпретации: всякий раз, когда мы используем термины, наиболее подходящие для человеческого поведенческого репертуара, не нужно воспринимать этот термин слишком буквально. Норки – не люди, и мы не можем уверенно приписывать им такое сложное психическое состояние. Meagher, R. K. & Mason, G. J. 'Environmental enrichment reduces signs of boredom in caged mink'. *PLoS One*, 7, e49180 (2012). См. также Latham, N. & Mason, G. 'Frustration and perseveration in stereotypic captive animals: is a taste of enrichment worse than none at all?' *Behavioural Brain Research*, 211, 96–104 (2010).

Mora, F., Segovia, G.&del Arco, A. 'Aging, plasticity and environmental enrichment: structural changes and neurotransmitter dynamics in several areas of the brain'. *Brain Research Review*, 55, 78–88 (2007). Kozorovitskiy, Y. et al. 'Experience induces structural and biochemical changes in the adult primate brain'. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 17478–82 (2005).

Kolb, B. Brain, Plasticity and Behaviour, ch I. Laurence Erlbaum Assoc (1995).

Greenfield, S. A. *Mind Change: How Digital Technologies are Leaving Their Mark on Our Brains*. (Random House, 2014).

Кроме того, наблюдается увеличение плотности синапсов в период между 28-й неделей беременности и 30-й неделей после рождения. За этот период плотность синапсов достигает пикового значения – 600 млн синапсов в кубическом миллиметре. Их количество стабилизируется примерно к десяти годам, снизившись до 300 млн. Huttenlocher, P. et al. 'Synaptogenesis in human visual cortex – evidence for synapse elimination during normal development'. *Neuroscience Letters*, 33, 247–52 (1982).

Gogtay, N. et al. 'Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood'. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 8174–9 (2004).

Интересно отметить, что объем «белого вещества», то есть соединительных волокон, продолжает увеличиваться в течение всего периода времени, рассматриваемого в данном исследовании, из-за усиления миелинизации, то есть формирования изолирующего слоя, который улучшает проводимость нерва.

Maguire, E. A. et al. 'Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers'. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97, 4398–403 (2000).

Gaser, C.& Schlaug, G. 'Brain structures differ between musicians and non-musicians'. *Journal of Neuroscience*, 23, 9240–5 (2003).

Bengtsson, S. L. et al. 'Extensive piano practising has regionally specific effects on white matter development'. *Nature Neuroscience*, 8, 1148–50 (2005).

Jancke, L. et al. 'The architecture of the golfer's brain'. *PLoS One*, 4, e4785 (2009).

Park, I. S. et al. 'Experience-dependent plasticity of cerebellar vermis in basketball players'. *Cerebellum*, 8, 334–9 (2009).

Mechelli, A. et al. 'Neurolinguistics: structural plasticity in the bilingual brain'. *Nature*, 431, 757 (2004); см. также Stein, M. et al. 'Structural plasticity in the language system related to increased second-language proficiency'. *Cortex*, 48, 458–65(2012).

Pascual-Leone, A. et al. 'Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills'. *Journal of Neurophysiology*, 74, 1037–45 (1995).

Bailey, C H.&Kandel, E. R. 'Synaptic remodeling, synaptic growth and the storage of long-term memory in Aplysia'. *Progress in Brain Research*, 169, 179–98 (2008).

Ridley, M. *Nature via Nurture: Genes, Experience and What Makes Us Human*. (Harper Perennial, 2004).

Pittenger, C.&Kandel, E. R. 'In search of general mechanisms for long-lasting plasticity: Aplysia and the hippocampus'. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 358, 757–63 (2003); базовые понятия о долгосрочной потенциации (LTP) и долгосрочной депрессии (LTD) см. S. A. Greenfield, *The Human Brain: A Guided Tour* (Orion, 1997); более полный и подробный разбор см. D. Purves, *Neuroscience* (Sinauer Press, 2011, 5th edn).

Deidda, G., Bozarth, I. F.&Cancedda, L. 'Modulation of GABAergic transmission in development and neurodevelopmental disorders: investigating physiology and pathology to gain therapeutic perspectives'. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 8, 119 (2014).

Storer, K. P.&Reeke, G. N.  $\gamma$ -Aminobutyric acid receptor type A receptor potentiation reduces firing of neuronal assemblies in a computational cortical model'. *Anesthesiology*, 117, 780–90 (2012).

Brown, R. T.&Wagner, A. R. 'Resistance to punishment and extinction following training with shock or nonreinforcement'. *Journal of Experimental Psychology*, 68, 503–7 (1964); Gray, J. A. 'Fear, panic and anxiety: what's in a name'. *Psychological Inquiry*, 2, 72–96 (1991).

John J. Hablitz Dopaminergic 'Modulation of Local Network Activity in Rat Prefrontal Cortex', *Journal of Neurophysiology*. 4120–28 (2007).

Greenfield, S. A. *The Private Life of the Brain: Emotions, Consciousness and the Secret of the Self*. (Wiley, 2000).

<http://www.channel4.com/news/laughing-gas-nitrous-oxide-legal-high-police-drugs-brick-lane-festivals>

Charles, A. C.&Hales, T. G. 'From inhibition to excitation: functional effects of interaction between opioid receptors'. *Life Sciences*, 76, 479–85 (2004).

Yau, S. et al. 'Physical exercise-induced adult neurogenesis: a good strategy to prevent cognitive decline in neurodegenerative diseases? *Biomedical Research International*, 403120 (2014).

Olson, A. K. et al 'Environmental enrichment and voluntary exercise massively increase neurogenesis in the adult hippocampus via dissociable pathways'. *Hippocampus*, 16, 250–60 (2006).

van Praag, H., Kempermann, G. & Gage, F. H. 'Running increases cell proliferation and neurogenesis in the adult mouse dentate gyrus'. *Nature Neuroscience*, 2, 266–70 (1999).

Begley, S. *The Plastic Mind*. (Constable, 2009).

He, S.-B. et al. 'Exercise intervention may prevent depression.'  
*International Journal of Sports Medicine*, 33, 525–30 (2012).

Frodl, T.&O'Keane, V. 'How does the brain deal with cumulative stress? A review with focus on developmental stress, HPA axis function and hippocampal structure in humans'. *Neurobiology of Disease*, 52, 24–37 (2013).

Cakir, B. et al. 'Stress-induced multiple organ damage in rats is ameliorated by the antioxidant and anxiolytic effects of regular exercise'. *Cell Biochemistry and Function*, 28, 469–79 (2010). Schoenfeld et al., (2013); Smith, J. C 'Effects of emotional exposure on state anxiety after acute exercise'. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(2): 372–8 (2013); Nakajima, S. et al. 'Regular voluntary exercise cures stress-induced impairment of cognitive function and cell proliferation accompanied by increases in cerebral IGF-1 and GST activity in mice'. *Behavioural Brain Research*, 211, 178–84 (2010).

Nokia, M. et al. 'Learning to learn: theta oscillations predict new learning, which enhances related learning and neurogenesis'. *PLoS One*, 7, e31375 (2012).

Begley, 2009.

Greenfield, 2011.

Reich, L. et al. 'A ventral visual stream reading center independent of visual experience'. *Current Biology*, 21, 363–8 (2011).

Neville, H. J. & Lawson, D. 'Attention to central and peripheral visual space in a movement detection task: an event-related potential and behavioral study. II. Congenitally deaf adults'. *Brain Research*, 405, 268–83 (1987).

Karns, C M., Dow, M. W.&Neville, H. J. Altered cross-modal processing in the primary auditory cortex of congenitally deaf adults: a visual-somatosensory fMRI study with a double-flash illusion'. *Journal of Neuroscience*, 32, 9626–38 (2012).

Gougoux, F. et al. 'Neuropsychology: pitch discrimination in the early blind'. *Nature*, 430, 309 (2004).

Lessard, N. et al. 'Early-blind human subjects localize sound sources better than sighted subjects'. *Nature*, 395, 278–80 (1998).

Röder, B. et al. 'Semantic and morpho-syntactic priming in auditory word recognition in congenitally blind adults'. *Language and Cognitive Processes*, 18, 1–20(2003).

Bull, R., Rathborn, H.&Clifford, B. R. 'The voice-recognition accuracy of blind listeners'. *Perception*, 12, 223–6 (1983).

Petrus, E. et al. 'Crossmodal induction of thalamocortical potentiation leads to enhanced information processing in the auditory cortex'. *Neuron*, 81, 664–73 (2014).

Terhune, D. B. et al. 'Enhanced cortical excitability in grapheme-color synesthesia and its modulation'. *Current Biology*, 21, 2006–9 (2011).

Liotta, A. e t al. 'Partial disinhibition is required for transition of stimulus-induced sharp wave-ripple complexes into recurrent epileptiform discharges in rat hippocampal slices'. *Journal of Neurophysiology*, 105, 172–87 (2011).

Rockel, A. J., Hiorns, R. W. & Powell, T. P. 'The basic uniformity in structure of the neocortex'. *Brain*, 103, 221 -44 (1980).

Libet, B. *Mind Time: The Temporal Factor in Consciousness*. (Harvard University Press, 2004).

VanRullen, R.&Thorpe, S. J. The time course of visual processing: from early perception to decision-making'. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 454–61 (2001).

Libet, 2004.

Crick, F.&Koch, C. 'A framework for consciousness'. *Nature Neuroscience*, 6, 119–26 (2003).

Dunn, R.&Dunn, K. *Teaching Students through Their Individual Learning Styles: A Practical Approach*. (Prentice Hall, 1978).

Pashler, H. et al. 'Learning Styles: Concepts and Evidence'. *Psychological Science in the Public Interest*, 9, 105–119 (2009).

Jones, B. 'Spatial perception in the blind'. *British Journal of Psychology*, 66, 461–72 (1975).

Risberg, A.&Lubker, J. 'Prosody and speech-reading' in *STL Quarterly Progress and Status Report*, 4, 1–16 (1978). Эта сенсорная синергия наиболее наглядно была показана у обезьян. В то время как все пять чувств идентифицируются по отдельности, они взаимодействуют, оказывая различные сетевые эффекты в зависимости от того, как соответствующие нейроны соединяются друг с другом. Такие сложные схемы не обнаружить в результате простой визуализации мозга, они потребовали бы более тонкой и детальной техники электрофизиологии.

Kayser, C., Petkov, C. I. & Logothetis, N. K. 'Multisensory interactions in primate auditory cortex: fMRI and electrophysiology'. *Hearing Research*, 258, 80–8 (2009).

Lindstrom, M. *Brand Sense: Sensory Secrets behind the Stuff We Buy*. (Free Press, 2010).

Geertz, C. *The Interpretation of Cultures: Selected Essays*. (Basic Books, 1973).

Lawless, H. T.&Heymann, H. *Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices*. (Springer, 2010).

Nordin, S. et al. 'Evaluation of auditory, visual and olfactory event-related potentials for comparing interspersed-and single-stimulus paradigms'. *International Journal of Psychophysiology*, 81, 252–62 (2011).

Sun, G. H. et al. 'Olfactory identification testing as a predictor of the development of Alzheimer's dementia: a systematic review'. *Laryngoscope*, 122, 1455–62 (2012).

Wilson, D. A., Kadohisa, M. & Fletcher, M. L. 'Cortical contributions to olfaction: plasticity and perception'. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 17, 462–70 (2006).

Wysocki, C J.&Preti, G. 'Facts, fallacies, fears and frustrations with human pheromones'. *The Anatomical Record. Part A. Discoveries in Molecular, Cellular and Evolutionary Biology*, 281, 1201–11 (2004).

Weisfeld, G. E. et al. 'Possible olfaction-based mechanisms in human kin recognition and inbreeding avoidance'. *Journal of Experimental Child Psychology*, 85, 279–95 (2003).

Wedekind, C. 'Body odours and body odour preferences in humans' in *The Oxford Handbook of Evolutionary Psychology* (eds. Dunbar, R.&Barrett, L.) (Oxford University Press, 2007).

Lewis, P. 'Musical minds'. *Trends in Cognitive Science*, 6, 364 (2002).

Barrow, J. D. *The Artful Universe. The Biological Foundations of Music* (Clarendon Press, 1995).

Pinker, S. *How the Mind Works*. (W. W. Norton, 1997).

Cross, I. 'Music, cognition, culture and evolution'. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 28–42 (2001).

Dunbar, R. *Human Evolution. Music, Cognition, Culture and Evolution* (Pelican, 2014).

McNeill, W. H. *Keeping Together in Time*. (Harvard University Press, 1995).

Cross, 2001.

Cross, 2001.

Small, D. M. et al. 'Changes in brain activity related to eating chocolate: from pleasure to aversion'. *Brain*, 124, 1720–33 (2001).

Breiter, H. C et al. 'Acute effects of cocaine on human brain activity and emotion'. *Neuron*, 19, 591–611 (1997).

После того как было выявлено повышение уровня дофамина во время прослушивания музыки, Сейлмур и ее команда использовали другой метод сканирования – позитронную эмиссионную томографию (PET), чтобы оценить динамику выделения дофамина в ключевых областях мозга. Они обнаружили функциональную разобщенность: одна область мозга (хвостатое ядро) была более активна в стадии предвкушения музыки, в то время как другая (прилежащее ядро) оказалась в большей степени связанной с опытом пиковых эмоциональных реакций на музыку.

Blood, A. J.&Zatorre, R. J. Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion'. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98, 11818–23 (2001).

Sacks, O. *Musicophilia: Tales of Music and the Brain*. (Random House, 2007). Сакс О. Музыкафилия. М.: АСТ, 2017.

<http://www.bls.gov/tus/charts/>

Мы были заинтересованы в поиске исследований по всем аспектам проектирования больничной среды, но во многих областях не проводилось квалифицированных исследований. Например, мы нашли только одно исследование, касающееся критерия освещения, одно исследование, касающееся оформления интерьера, но мы не нашли никаких достоверных исследований, которые рассматривали бы использование предметов искусства. Есть некоторые оговорки и в отношении исследований, которые нам удалось найти, потому что и они выполнены небезупречно. Таким образом, несмотря на большой объем информации, включенной в этот обзор, мы призываем к проведению более качественных и детальных исследований в этой области, <https://www.news-medical.net/news/20120315/Hospital-environments-could-influence-patient-recovery.aspx> Drahotá, A. et al. 'Sensory environment on health-related outcomes of hospital patients'. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 3, CD005315 (2012). См. также Kaler, S. R. & Freeman, B. J. 'Analysis of environmental deprivation: cognitive and social development in Romanian orphans'. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 35, 769–81 (1994). Elovathingal, T. J. et al. Abnormal brain connectivity in children after early severe socioemotional deprivation: a diffusion tensor imaging study'. *Pediatrics*, 117(6), 2093–100 (June 2006). Prut, L. & Belzung, C. 'The open field as a paradigm to measure the effects of drugs on anxiety-like behaviors: a review'. *European Journal of Pharmacology*, 463(1–3), 3–33 (28 Feb. 2003); см. также Eberhard, J. P. 'Applying neuroscience to architecture'. *Neuron*, 62, 753–6 (2009).

Albers, L. H. et al. 'Health of children adopted from the former Soviet Union and Eastern Europe. Comparison with preadoptive medical *records*'. *JAMA*, 278, 922-4 (1997).

Kaler&Freeman, 1994.

Eluvathingal, 2006.

Sheridan, M. A. et al. 'Variation in neural development as a result of exposure to institutionalization early in childhood'. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, 12927–32 (2012).

Frasca, D. et al. 'Traumatic brain injury and post-acute decline: what role does environmental enrichment play? A scoping review'. *Frontiers of Human Neuroscience*, 7, 31 (2013).

Linhares, J. M. M., Pinto, P. D.&Nascimento, S. M. C. 'The number of discernible colors in natural scenes'. *Journal of: the Optical Society of America A. Optics, Image Science and Vision*, 25, 2918–24 (2008).

Gegenfurtner, K. R. & Kiper, D. C. 'Color vision'. *Annual Review of Neuroscience*, 26, 181–206 (2003).

Purves, D. et al. *Neuroscience*. (Sinauer Press, 2012).

Cauquil, A. S. et al. 'Neural correlates of chromostereopsis: an evoked potential study'. *Neuropsychologic*, 47, 2677–81 (2009). Dreiskaemper, D. et al. 'Influence of red jersey color on physical parameters in combat sports'. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 35, 44–9 (2013). Farrelly, D. et al. 'Competitors who choose to be red have higher testosterone levels'. *Psychological Science*, 24, 2122–4 (2013).

Sable, P.&Akcaý, O. 'Response to colour: literature review with cross-cultural marketing perspective. *International Bulletin of Business Administration*, 11, 34–41 (2011).

Labrecque, L. I. & Milne, G. R. 'Exciting red and competent blue: the importance of color in marketing'. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 40, 711–27 (2012); см. также Labrecque, L. I. & Milne, G. R. 'To be or not to be different: exploration of norms and benefits of color differentiation in the marketplace'. *Marketing Letters*, 24, 165–76 (2013).

За большей информацией об «эффekte красного» см. Elliot, A. J.&Maier, M. A. 'Color psychology: effects of perceiving color on psychological functioning in humans'. *Annual Review of Psychology*, 65, 95–120 (2014).

<http://www.morganlovell.co.uk/articles/the-evolution-of-office-design>

Meyerson, I., & Ross, P., *The Twenty-first Century Office* (Laurence King, 2003).

Thanem, T., Varlander, S.&Cummings, S. 'Open space = open minds? The ambiguities of pro-creative office design'. *International Journal of Work Organisation and Emotion*, 4, 78 (2011).

<http://www.economist.com/blogs/schumpeter/2014/05/hot-desking-and-office-hire>

Prut, L.&Belzung, C. The open field as a paradigm to measure the effects of drugs on anxiety-like behaviors: a review'. *European Journal of Pharmacology*, 463, 3–33 (2003).

Mayo, E. *Hawthorne and the Western Electric Company: The Social Problems of an Industrial Civilization*. (Routledge, 1949).

Toker, U.&Gray, D. O. 'Innovation spaces: workspace planning and innovation in US university research centers'. *Research Policy*, 37, 309–29 (2008).

Backhouse, A.&Drew, P. 'The design implications of social interaction in a workplace setting'. *Environment and Planning B*, 19, 573–84 (1992).

Toker&Gray, 2008.

Greenfield, S. A. *You and Me: The Neuroscience of Identity*. (Notting Hill Editions, 2011).

Greenfield, S. A. *The Private Life of the Brain: Emotions, Consciousness and the Secret of the Self* (Wiley, 2000).

Thanem, Varlander&Cummings, 2011.

Fleming, P. 'Workers' playtime? Boundaries and cynicism in a "culture of fun" program'. *Journal of Applied Behavioral Science*, 41, 285–303 (2005).

Mann, S.&Cadman, R. 'Does being bored make us more creative?' *Creativity Research Journal*, 26, 165–73 (2014).

Dijksterhuis, A.&Meurs, T. 'Where creativity resides: the generative power of unconscious thought'. *Consciousness and Cognition*, 15, 135–46 (2006).

Marshall, B.&Azad, M. 'Q&A: Barry Marshall. A bold experiment: *Nature*, 514, S6–7 (2014).

Sass, L. A. 'Schizophrenia, modernism and the "creative imagination": on creativity and psychopathology'. *Creativity Research Journal*, 13, 55–74 (2001).

Sturman, D. A. & Moghaddam, B. The neurobiology of adolescence: changes in brain architecture, functional dynamics and behavioral tendencies'. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 35, 1704–12 (2011).

Rivers, S. E., Reyna, V. F. & Mills, B. 'Risk-taking under the influence: a fuzzy-trace theory of emotion in adolescence'. *Developmental Review*, 28, 107–44 (2008).

Fuster, J. *The Prefrontal Cortex*. (Academic Press, 2008).

Barton, R. A.&Venditti, C. 'Human frontal lobes are not relatively large'. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(22), 9001–6(2013). Schoenemann, P.T., Sheehan, M. J.&Glotzer, L. D. 'Prefrontal white matter volume is disproportionately larger in humans than in other primates'. *Nature Neuroscience*, 8(2), 242–52 (2005). McBride, T., Arnold, S. E.&Gur, R. C A comparative volumetric analysis of the prefrontal cortex in human and baboon MRI'. *Brain, Behavior and Evolution*, 54(3), 159–66 (1999).

Tsujimoto, S. 'The prefrontal cortex: functional neural development during early childhood'. *Neuroscientist*, 14, 345–58 (2008).

Alvarez, J. A. & Emory, E. 'Executive function and the frontal lobes: a meta-analytic review'. *Neuropsychological Review*, 16, 17–42 (2006).

Sturman&Moghaddam, 2011.

Chambers, R. A., Taylor, J. R.&Potenza, M. N. 'Developmental neurocircuitry of motivation in adolescence: a critical period of addiction vulnerability'. *American Journal of Psychiatry*, 160, 1041–52 (2003).

Ferron, A. et al. Inhibitory influence of the mesocortical dopaminergic system on spontaneous activity or excitatory response induced from the thalamic mediodorsal nucleus in the rat medial prefrontal cortex'. *Brain Research*, 302, 257–65(1984).

Knobloch, H. S.&Grinevich, V. 'Evolution of oxytocin pathways in the brain of vertebrates'. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, 31 (2014).

Steinberg, L. A social neuroscience perspective on adolescent risk-taking'. *Developmental Review*, 28, 78–106 (2008).

Barch, D. M. 'The cognitive neuroscience of schizophrenia'. *Annual Review of Clinical Psychology*, 1, 321–53 (2005).

Cortinas, M. et al. 'Reduced novelty-P3 associated with increased behavioral distractibility in schizophrenia'. *Biological Psychology*, 78, 253–60 (2008).

Strange, P. G. *Brain Biochemistry and Brain Disorders*. (Oxford University Press, 1992); Sturman&Moghaddam, 2011.

Доказательства этой давно сформировавшейся идеи достаточно просты: стимулирующий препарат, такой как амфетамин, который усиливает высвобождение дофамина в мозге, имитирует психотические симптомы шизофрении. Антипсихотические препараты, которые блокируют действие дофамина, напротив, оказывают значительное успокаивающее действие и активно используются в качестве терапии при шизофрении. Тем не менее при шизофрении чрезмерная активность дофамина может быть обусловлена не столько повышенной концентрацией молекул-передатчиков, сколько усилением эффектов дофамина, вызванным аномалиями в строении их целевых рецепторов или каком-либо биохимическом процессе. В любом случае, крайне маловероятно, что такой комплекс сложных сенсорных и когнитивных нарушений, характерных для шизофрении, может объясняться так просто. Ключевым моментом здесь является то, что дофамин играет важную роль в тонком взаимодействии химических веществ и, соответственно, реконфигурации нейронных схем, которые в конечном итоге определяют индивидуальный «разум». Недостаток или неверный порядок связей приведет к недостатку понимания, особенно когда речь идет о таких абстрактных понятиях, как те, что воплощены в пословицах. Более того, как у детей, так и у шизофреников, по-видимому, отсутствует логическое мышление, и их суждения часто подкреплены хрупким, своеобразным обоснованием. Эти, казалось бы, иррациональные и удивительные ассоциации часто находят отражение в творчестве – будь то странные, нереалистичные сочетания цветов в рисунках ребенка, например овцы фиолетового цвета на голубой траве или абстрактный «винегрет из слов» – столь распространенный в детских стихах и речи больных шизофренией. Brisch, R. et al. The role of dopamine in schizophrenia from a neurobiological and evolutionary perspective: old-fashioned, but still in vogue'. *Frontiers in Psychiatry*, 5, 47 (2014). Kasanin, J. S. *Language and Thought in Schizophrenia*. (University of California Press, 1944). Mujica-Parodi, L R., Malaspina, D.&Sackeim, H. A. 'Logical processing, affect and delusional thought in schizophrenia'. *Harvard Review of Psychiatry*, 8, 73–83. Caplan, R. et al. 'Formal thought disorder in childhood onset schizophrenia and schizotypal personality disorder'. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 31, 1103–14 (1990).

Gao, Wang&Goldman-Rakic, 2003.

Tsujimoto, 2008; см. также Welsh, M. C.&Pennington, B. F. 'Assessing frontal lobe functioning in children: views from developmental psychology. *Developmental Neuropsychology*, 4, 199–230 (1988).

Parsons et al., 2013.

Davis, C. et. al. 'Decision-making deficits and overeating: a risk model for obesity'. *Obesity Research&Clinical Practice*, 12, 929–35 (2004).

Tataranni, P. A. & DelParigi, A. 'Functional neuroimaging: a new generation of human brain studies in obesity research'. *Obesity Reviews*, 4, 229–38 (2003).

Tanabe, J. et al. 'Prefrontal cortex activity is reduced in gambling and nongambling substance users during decision-making'. *Human Brain Mapping*, 28, 1276–86(2007).

Cole, M. W. et al. 'Global connectivity of prefrontal cortex predicts cognitive control and intelligence'. *Journal of Neuroscience*, 32, 8988–99 (2012).

Greenfield, S. A. *Mind Change: How Digital Technologies are Leaving Their Mark on Our Brains*. (Random House, 2014).

Rosen, L. D. et al. 'Media and technology use predicts ill-being among children, preteens and teenagers independent of the negative health impacts of exercise and eating habits'. *Computers in Human Behavior*, 35, 364–75 (2014).

Доказательства существования адаптационных изменений и их накопления уже задокументированы. В целом они приводят к более гибкой обработке информации, но в то же время меньшей рассудительности, сниженной эмпатии, повышению риска формирования нарциссического типа личности, нежелательной агрессии, параллельно отмечается повышение производительности при прохождении тестов IQ, улучшение рабочей памяти. Bavelier, D. et al. 'Brains on video games'. *National Review of Neuroscience*, 12, 763–8 (2011). Greenfield, S. A., 2014.

Koepp, M. J. et al. 'Evidence for striatal dopamine release during a video game'. *Nature*, 393, 266–8 (1998); см. также Weinstein, A. M. 'Computer and video game addiction – a comparison between game users and non-game users'. *American Journal of Drug and Alcohol Abuse*, 36, 268–76 (2010).

Greenfield, S. A., 2014.

Yuan, K. et al. 'Microstructure abnormalities in adolescents with internet addiction disorder'. *PLoS One*, 6, e20708 (2011).

This is a controversial and complex topic that is fully discussed in Greenfield, S. A., 2014.

Freis, E. D.&Ari, R. 'Clinical and experimental effects of reserpine in patients with essential hypertension'. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 59, 45–53 (1954).

Nutt, D. J. 'The role of dopamine and norepinephrine in depression and antidepressant treatment'. *Journal of Clinical Psychiatry*, 67 (suppl.6), 3–8 (2006).

Pletscher, A. 'The discovery of antidepressants: a winding path'. *Experientia*, 47, 4–8 (1991).

Healy, D. *The Antidepressant Era*. (Harvard University Press, 1997).

С тех пор, разумеется, было разработано множество фармацевтически сложных и селективных препаратов. Некоторые препараты предыдущего поколения провоцировали нежелательные побочные эффекты, такие как «сырный синдром» – ускорение сердечного ритма, повышение артериального давления, развитие гипертензивных кризов при одновременном применении антидепрессантов группы ингибиторов МАО с пищевыми продуктами, содержащими тирамин или его предшественник тирозин. Любопытно, что кто их принимал, должен был избегать продуктов, богатых тирамином (сыр, шоколад и красное вино). В связи с этим был разработан новый класс препаратов – трициклические антидепрессанты, получивший свое название из-за особой химической структуры: они имеют три соединенных вместе кольца в молекуле, хотя структура этих колец и присоединенные к ним радикалы могут быть очень разными. Они значительно более избирательны, блокируют обратный захват (реаптейк) нейромедиаторов (преимущественно норадреналина и серотонина) пресинаптической мембраной. Эти препараты не влияют на метаболизм тирамина, поэтому пациенты, применяющие их, могут спокойно наслаждаться сыром и вином. Однако со временем антидепрессанты стали еще более селективными, и их эффективность значительно возросла с появлением третьего поколения препаратов, таких как Prozac.

Fitzgerald, P. J. 'Forbearance for fluoxetine: do monoaminergic antidepressants require a number of years to reach maximum therapeutic effect in humans? *International Journal of Neuroscience*, 124, 467–73 (2014).

Scott, J. 'Cognitive therapy'. *British Journal of Psychiatry*, 165, 126–30 (1994); см. также Cuijpers, P. et al. 'A meta-analysis of cognitive-behavioural therapy for adult depression, alone and in comparison with other treatments'. *Canadian Journal of Psychiatry*, 58, 376–85 (2013).

Anacker, C. Adult hippocampal neurogenesis in depression: behavioral implications and regulation by the stress system'. *Current Topics in Behavioral Neurosciences* (2014).

Sheline, Y. I. et al. 'Resting-state functional MRI in depression unmasks increased connectivity between networks via the dorsal nexus'. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 11020–5 (2010).

Ren, J. et al. 'Repetitive transcranial magnetic stimulation versus electroconvulsive therapy for major depression: a systematic review and meta-analysis'. *Progress in Neuropsychopharmacology&Biological Psychiatry*, 51, 181 -9 (2014).

Yoshimura, R. et al. 'Comparison of lithium, aripiprazole and olanzapine as augmentation to paroxetine for inpatients with major depressive disorder'. *Therapeutic Advances in Psychopharmacology*, 4, 123–9 (2014). De Sousa, R. T. et al. 'Lithium increases nitric oxide levels in subjects with bipolar disorder during depressive episodes'. *Journal of Psychiatric Research*, 55, 96–100 (2014). Welsh, D. K. & Moore-Ede, M. C. 'Lithium lengthens circadian period in a diurnal primate, *Saimiri sciureus*'. *Biological Psychiatry*, 28, 117–26 (1990). Brown, K. M. & Tracy, D. K. 'Lithium: the pharmacodynamic actions of the amazing ion'. *Therapeutic Advances in Psychopharmacology*, 3, 163–76 (2013). Buigues, C et al. 'The relationship between depression and frailty syndrome: a systematic review'. *Aging & Mental Health*, 1–11 (16 Oct. 2014).

Yanagita, T. et al. 'Lithium inhibits function of voltage-dependent sodium channels and catecholamine secretion independent of glycogen synthase kinase-3 in adrenal chromaffin cells'. *Neuropharmacology*, 53, 881–9 (2007).

Mason, L. et al. 'Decision-making and trait impulsivity in bipolar disorder are associated with reduced prefrontal regulation of striatal reward valuation'. *Brain*, 137, 2346–55(2014).

Hercher, C., Chopra, V.&Beasley, C L. 'Evidence for morphological alterations in prefrontal white matter glia in schizophrenia and bipolar disorder'. *Journal of Psychiatry and Neuroscience*, 39, 130277 (2014).

Muzina, D. J.&Calabrese, J. R. 'Maintenance therapies in bipolar disorder: focus on randomized controlled trials'. *Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*, 39, 652–61 (2005).

Lautenbacher, S.&Krieg, J. C. 'Pain perception in psychiatric disorders: a review of the literature'. *Journal of Psychiatric Research*, 28, 109–22 (1994); см. также Guieu, R., Samuelian, J. C&Coulouvat, H. 'Objective evaluation of pain perception in patients with schizophrenia'. *British Journal of Psychiatry*, 164, 253–5 (1994); Dworkin, R. H. 'Pain insensitivity in schizophrenia: a neglected phenomenon and some implications'. *Schizophrenia Bulletin*, 20, 235–48 (1994).

Giles, L. L., Singh, M. K.&Nasrallah, H. A. 'Too much or too little pain: the dichotomy of pain sensitivity in psychotic versus other psychiatric disorders'. *Current Psychosis and Therapeutics Reports*, 4, 134–8 (2006).

Adler, G.&Gattaz, W. F. 'Pain perception threshold in major depression'.  
*Biological Psychiatry*, 34, 687–9 (1993).

Джаспер и Пенфилд обнаружил и, что удаление довольно больших участков коры (и разных областей) у пациентов с эпилепсией не влияет на способность испытывать боль. Penfield, W.&Jasper, H. 'Epilepsy and the functional anatomy of the human brain'. (Little, Brown&Co., 1954).

Hall, K. R.&Stride, E. The varying response to pain in psychiatric disorders: a study in abnormal psychology'. *British Journal of Medical Psychology*, 27, 48–60 (1954); см. также Pollmann, L.&Harris, P. H. 'Rhythmic changes in pain sensitivity in teeth'. *International Journal of Chronobiology*, 5, 459–64 (1978).

Koyama, T et al. 'The subjective experience of pain: where expectations become reality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 12950–5 (2005).

Ramachandran, V. S. & Blakeslee, S. *Phantoms in the Brain: Probing the Mysteries of the Human Mind*. (Harper Perennial, 1998).

Melzack, R.&Wall, P. D. *The Challenge of Pain*. (Penguin, 1996).

Kupers, R. C, Konings, H., Adriaensen, H.&Gybels, J. M. 'Morphine differentially affects the sensory and affective pain ratings in neurogenic and idiopathic forms of pain'. *Pain*, 47, 5–12 (1991).

Ponterio, G. et al. 'Powerful inhibitory action of mu opioid receptors (MOR) on cholinergic interneuron excitability in the dorsal striatum'. *Neuropharmacology*, 75, 78–85(2013).

Lautenbacher&Krieg, 1994; см. также Guieu, Samuelian&Coulouvat, 1994; and Dworkin, 1994.

Small, G. W.&Greenfield, S. 'Current and future treatments for Alzheimer disease'. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, 23, 1101–5 (2015).

Одна популярная идея, в настоящее время лежащая в основе многих исследований, заключается в том, что фактором, в действительности ответственным за разрушение нейронов при болезни Альцгеймера, является нарушение белкового обмена, сопровождающееся образованием и отложением в тканях специфического белково-полисахаридного комплекса – амилоида. Однако до сих пор препараты, борющиеся с присутствием амилоида, остаются малоэффективными по результатам клинических испытаний. Похоже, что эти аномальные отложения в мозге могут быть дополнительным фактором, но, опять же, не основной проблемой. Альтернативной целью, которая в настоящее время исследуется, является еще одна гистологическая аномалия, обнаруженная в мозге больных синдромом Альцгеймера: нейрофибриллярные клубки. Greenfield, S. A. & Vaux, D. J. 'Parkinson's disease, Alzheimer's disease and motor neurone disease. Identifying a common mechanism'. *Neuroscience*, 113, 485–92 (2002).

Aarsland, D. et al. 'Frequency of dementia in Parkinson disease'. *Archives of Neurology*, 53, 538–42 (1996); см. также Calne, D. B. et al. Alzheimer's disease, Parkinson's disease and motorneurone disease: abiotrophic interaction between ageing and environment? *Lancet*, 2, 1067–70 (1986); Horvath, J. et al. 'Neuropathology of Parkinsonism in patients with pure Alzheimer's disease'. *Journal of Alzheimer's Disease*, 39, 115–20 (2014).

Всякий раз, когда большое количество клеток головного мозга повреждается, например, при сильном ударе, затем происходит по крайней мере частичное восстановление. Однако если повреждение происходит в области триггерных хабов, оно провоцирует запуск механизма, свойственного развивающемуся мозгу: высвобождение определенного химического вещества, которое в зрелом мозге действует совершенно иначе, проявляя токсические свойства. Таким образом, химическое вещество, которое было высвобождено для компенсации повреждений, наносит еще больший ущерб, и, следовательно, далее происходит новый, еще больший выброс. Этот цикл и приводит к возникновению нейродегенеративных расстройств. Greenfield, S. 'Discovering and targeting the basic mechanism of neurodegeneration: the role of peptides from the C-terminus of acetylcholinesterase: non-hydrolytic effects of ache: the actions of peptides derived from the C-terminal and their relevance to neurodegeneration'. *Chemico-biological Interactions*, 203, 543–6 (2013).

Woods, B. et al. 'Reminiscence therapy for dementia'. *Cochrane Database of Systematic Reviews* CD001120 (2005).

Atkins, S. *First Steps: Living with Dementia*. (Lion, 2013).

Sacks, O. *Musicophilia: Tales of Music and the Brain*. (Random House, 2007). *Сакс О. Музыкафилия*. М.: АСТ, 2017.

Еще один подход к компенсированию снижения когнитивных функций – ориентация на реальность. Стратегия этого терапевтического подхода состоит в том, чтобы уменьшить неопределенность и беспокойство. Воплощением такого подхода может стать меловая доска с датой, расписанием приемов пищи и текущей погодой, большие календарные часы на стене и таблички с названиями предметов, на которые они наклеены. В некотором смысле нормальный контекст времени и пространства в повседневной жизни, который обычно обеспечивается внутренней нейронной связью, теперь поступает из внешней среды. Но и тут могут возникнуть проблемы. Например, сказав человеку, что он не сможет увидеться с супругой, потому что она умерла десять лет назад, можно очень сильно его огорчить, потому что он, скорее всего, отреагирует на эту информацию так, будто слышит ее впервые. Поэтому человеку, страдающему деменцией, резонно позволять в некоторой степени «определять» реальность. Ни один здравомыслящий взрослый не скажет маленькому ребенку, что Деда Мороза не существует. Скорее он отдаст предпочтение ограниченному пониманию реальности ребенка. Atkins, 2013. Spector, A. et al. 'Reality orientation for dementia'. *Cochrane Database of Systematic Reviews* CD001119 (2000).

Capellini, Let al. 'Phylogenetic analysis of the ecology and evolution of mammalian sleep'. *Evolution*, 62, 1 764–6 (2008).

Morris, G. O., Williams, H. L. & Lubin, A. 'Misperception and disorientation during sleep deprivation'. *Archives of General Psychiatry*, 2, 247–54 (1960).

Hobson, J.A.&Friston, K. J. 'Waking and dreaming consciousness: neurobiological and functional considerations'. *Progress in Neurobiology*, 98, 82–98 (2012).

Пока неясно, касается ли это обоняния и вкуса, которые редко проявляются в сновидениях.

Hobson&Friston, 2012.

Там же.

Marchant, J. 'Why brainy animals need more REM sleep after all'. *New Scientist* (19 June 2008).

Hobson, J. A. 'REM sleep and dreaming: towards a theory of protoconsciousness'. *National Review of Neuroscience*, 10, 803–13 (2009).

Davis, K. F., Parker, K. P.&Montgomery, G. L. 'Sleep in infants and young children: part one: normal sleep'. *Journal of Pediatric Health Care*, 18, 65–71 (2004).

<http://www.babble.com/baby/baby-sleep-tips/baby-sleep-tips-1/www.babble.com/baby/baby-sleep/>

Hobson&Friston, 2012.

O'Neill J. et al. 'Play it again: reactivation of waking experience and memory'. *Trends in Neuroscience*, 33(5), 220–9 (2010).

Kumar, S.&Sagili, H. 'Etiopathogenesis and neurobiology of narcolepsy: a review'. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 8, 190–5 (2014).

Morrison, A. R. 'A window on the sleeping brain' in *The Workings of the Brain: Development, Memory and Perception* (ed. Llinas, R. R.), 133–148 (W. H. Freeman, 1990).

Nir&Tononi, 2010.

Llinas, R. R.&Pare, D. 'Of dreaming and wakefulness'. *Neuroscience*, 44, 521–35 (1991).

Tononi, G.&Koch, C. The neural correlates of consciousness: an update'. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124, 239–61 (2008).

Plum, F. in 'Coma and related disturbances of the human conscious state'. *Cerebral Cortex Vol. 9: Normal and Altered States and Function* (eds. Peters, A.&Jones, E. G.) 359–426 (Plenum Press, 1991); Young, G. B., Ropper, A. H.&Bolton, C. E. *Coma and Impaired Consciousness: A Clinical Perspective*. (McGraw Hill, 1998).

Maquet, P. et al. 'Functional neuroanatomy of human rapid-eye-movement sleep and dreaming'. *Nature*, 383, 163–6 (1996).

Epstein, A. W. 'Effect of certain cerebral hemispheric diseases on dreaming'. *Biological Psychiatry*, 14, 77–93 (1979); см. также Maquet, P. 'Functional neuroimaging of normal human sleep by positron emission tomography'. *Journal of Sleep Research*, 9, 207–31 (2000).

Solms, M. 'Dreaming and REM sleep are controlled by different brain mechanisms'. *Behavioral and Brain Sciences*, 23, 843–50; discussion 904–1121 (2000).

Büchel, C et al. 'Different activation patterns in the visual cortex of late and congenitally blind subjects'. *Brain*, 121, Pt 3, 409–19 (1998).

Там же.

Horikawa, T. et al. 'Neural decoding of visual imagery during sleep'. *Science*, 340, 639–42 (2013).

Nir&Tononi, 2010.

Nir&Tononi, 2010.

Penfield, W.&Perot, P. The brain's record of auditory and visual experience. A final summary and discussion'. *Brain*, 86, 595–696 (1963).

Brisch, R. et al. 'The role of dopamine in schizophrenia from a neurobiological and evolutionary perspective: old-fashioned, but still in vogue'. *Frontiers in Psychiatry*, 5, 47(2014).

Solms, M.&Turnbull, O. *The Brain and the Inner World*. (Other Press, 2002).

Monti, J. M.&Monti, D. 'The involvement of dopamine in the modulation of sleep and waking'. *Sleep Medicine Reviews*, 11, 113–33 (2007).

Grace, A. A. & Bunney, B. S. 'The control of firing pattern in nigral dopamine neurons: burst firing'. *Journal of Neuroscience*, 4, 2877–90 (1984).  
Grace, A. A. & Bunney, B. S. 'The control of firing pattern in nigral dopamine neurons: single spike firing'. *Journal of Neuroscience*, 4, 2866–76 (1984).

Ferron, A. et al. 'Inhibitory influence of the mesocortical dopaminergic system on spontaneous activity or excitatory response induced from the thalamic mediodorsal nucleus in the rat medial prefrontal cortex'. *Brain Research*, 302, 257–65 (1984); Gao, W.-J., Wang, Y.&Goldman-Rakic, P. S. 'Dopamine modulation of perisomatic and peridendritic inhibition in prefrontal cortex'. *Journal of Neuroscience*, 23, 1622–30 (2003).

Nir&Tononi, 2010; см. также Dang-Vu, T. T. et al. 'Functional neuroimaging insights into the physiology of human sleep'. *Sleep*, 33, 1589–603 (2010).

Solms, 2000.

Lambert, R. C. et al. 'The many faces of T- type calcium channels'. *Pflugers Archiv. European Journal of Physiology*, 466, 415–23 (2014). Holthoff K., Kovalchuk, Y.&Konnerth, A. 'Dendritic spikes and activity-dependent synaptic plasticity'. *Cell Tissue Research*, 326, 369–77 (2006).

Nielsen, T. A. et al. 'Pain in dreams'. *Sleep*, 16, 490–8 (1993).

Lautenbacher, S.&Krieg, J. C. 'Pain perception in psychiatric disorders: a review of the literature'. *Journal of Psychiatric Research*, 28, 109–22 (1994); Guieu, R., Samuélian, J. C&Coulouvat, H. 'Objective evaluation of pain perception in patients with schizophrenia'. *British Journal of Psychiatry*, 164, 253–5 (1994).

Casey, B. J., Getz, S. & Galvan, A. 'The adolescent brain'. *Developmental Review*, 28, 62–77 (2008); Sturman, D. A. & Moghaddam, B. 'The neurobiology of adolescence: changes in brain architecture, functional dynamics and behavioral tendencies'. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 35, 1704–12 (2011).

Toda, M.&Abi-Dargham, A. 'Dopamine hypothesis of schizophrenia: making sense of it all'. *Current Psychiatry Reports*, 9, 329–36 (2007).

Zadra, A. L, Nielsen, T. A.&Donderi, D. C. 'Prevalence of auditory, olfactory and gustatory experiences in home dreams'. *Perceptual and Motor Skills*, 87, 819–26 (1998).

Pollin R. A. & Abman, S. H, Fetal and Neonatal Physiology: Expert Consult, vol. 2, 1777.

Klemm, W. R. 'Why does REM sleep occur? A wake- up hypothesis'. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 5, 73 (2011).

Mavromatis, A. *Hypnagogia: The Unique State of Consciousness between Wakefulness and Sleep*. (Routledge, Chapman and Hall, 1987).

Greenfield, S. A. *The Private Life of the Brain: Emotions, Consciousness and the Secret of the Self* (Wiley, 2000).

Popper, K. *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. (Routledge and Kegan Paul, 1963). *Поппер К.Р.* Предположения и опровержения: Рост научного знания. М.: АСТ, 2008.

Bryan, A. et al. 'Functional Electrical Impedance Tomography by Evoked Response: a new device for the study of human brain function during anaesthesia'. *Proceedings of the Anaesthetic Research Society Meeting*, 428–9 (2010).

Скорость отклика fEITER (менее 0, 1 мс) намного превосходит скорость при обычной визуализации головного мозга, поэтому реакции соответствующих областей мозга на звук, свет или прикосновение могут быть зафиксированы с впечатляющей точностью.

Damasio, A. *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain*. (Penguin, 2005).

Damasio, A. Указ. соч.

Mayer, E. A. 'Gut feelings: the emerging biology of gut-brain communication'. *Nature Reviews Neuroscience*, 12, 453–66 (2011).

На островковую долю, переднюю поясную кору, амигдалу, а также на более глубокие области мозга, такие как гипоталамус.

Martin, P. *The Sickening Mind: Brain, Behaviour, Immunity and Disease*. (Harper Collins, 1997).

Ader, R.&Cohen, N. 'Behaviorally conditioned immunosuppression and murine systemic lupus erythematosus. *Science*, 215, 1534–6 (1982); Maier, S. F., Watkins, L R.&Fleshner, M. 'Psychoneuroimmunology. The interface between behavior, brain and immunity'. *American Psychologist*, 49, 1004–17 (1994).

Hökfelt, T. et al. 'Coexistence of peptides and putative transmitters in neurons'. *Advances in Biochemical Psychopharmacology*, 22, 1–23 (1980).

Hokfelt, T. et al. Neuropeptides – an overview. *Neuropharmacology*, 39, 1337–56 (2000); Hokfelt, T. et al. 'Some aspects on the anatomy and function of central cholecystinin systems'. *BMC Pharmacology and Toxicology*, 91, 382–6 (2002); и Hokfelt, T., Bartfai, T.&Bloom, F. 'Neuropeptides: opportunities for drug discovery'. *Lancet Neurology*, 2, 463–72 (2003); and Hokfelt, T., Pernow, B.&Wahren, J. 'Substance P: a pioneer amongst neuropeptides'. *Journal of Internal Medicine*, 249, 27–40(2001).

Leng, G.&Ludwig, M. 'Neurotransmitters and peptides: whispered secrets and public announcements'. *Journal of Psysiology*, 586, 5625–32 (2008). Van den Pol, A. N. 'Neuropeptide transmission in brain circuits'. *Neuron*, 76, 98–115 (2012).

Dement, W. C. 'History of sleep medicine'. *Neurologic Clinics*, 23, 945–65, v (2005). Bolz, B. 'How time passes in dreams. (2009). <http://indianapublicmedia.org/amomentofscience/time-passes-dreams/>. Erlacher, D. et al. 'Time for actions in lucid dreams: effects of task modality, length and complexity'. *Frontiers in Psychology*, 4, 1013 (2013).

Taylor, B. N. *The International System of Units (SI)*. (NIST, 2001).

Grondin, S. Timing and time perception: a review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions'. *Attention, Perception and Psychophysics*, 72, 561 -82 (2010).

Tulving, E. 'Episodic memory: from mind to brain'. *Annual Review of Psychology*, 53, 1–25(2002).

Опубликовано анонимно: *The Alternative: A Study in Psychology*.  
(London: Macmillan and Co., 1882).

Alexander, I., Cowey, A.&Walsh, V. 'The right parietal cortex and time perception: back to Critchley and the Zeitraffer phenomenon'. *Cognitive Neuropsychology*, 22, 306–15 (2005); Koch, G. et al. 'Underestimation of time perception after repetitive transcranial magnetic stimulation'. *Neurology*, 60, 1844–6 (2003); Danckert, J. et al. 'Neglected time: impaired temporal perception of multisecond intervals in unilateral neglect'. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 1706–20 (2007).

Walsh, V. A theory of magnitude: common cortical metrics of time, space and quantity'. *Trends in Cognitive Science*, 7, 483–8 (2003); Buetti, D., Bahrami, B. & Walsh, V. 'Sensory and association cortex in time perception'. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20, 1054–62 (2008).

Tregellas, J. R. et al. 'Effect of task difficulty on the functional anatomy of temporal processing'. *NeuroImage*, 32, 307–15 (2006); Lewis, P. A. & Miall, R. C. 'A right hemispheric prefrontal system for cognitive time measurement'. *Behavioural Processes*, 71, 226–34 (2006); Penney, T. B. & Vaitlingham, L. 'Imaging time' в *Psychology of Time* (ed. Grondin, S.) 261–94 (Bingley UK Emerald Group, 2008); Macar, F. & Vidal, F. 'Timing processes: an outline of behavioural and neural indices not systematically considered in timing models'. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 63, 227–39 (2009).

Merchant, H., Harrington, D. L. & Meck, W. H. 'Neural basis of the perception and estimation of time'. *Annual Review of Neuroscience*, 36, 313–36 (2013).

Grondin, 2010; см. также Eagleman, D. M. 'Human time perception and its illusions'. *Current Opinion in Neurobiology*, 18, 131 -6 (2008).

Eagleman, 2008.

Morrone, M. C, Ross, J.&Burr, D. 'Saccadic eye movements cause compression of time as well as space'. *Nature and Neuroscience*, 8, 950–4 (2005).

New, J. J. & Scholl, B. J. 'Subjective time dilation: spatially local, object-based, or a global visual *experience*? *Journal of Vision*, 9, 4, 1 -11 (2009).

Stetson, C, Fiesta, M. P.&Eagleman, D. M. 'Does time really slow down during a frightening event? *PloSOne*, 2, el 295 (2007).

Stetson, Fiesta&Eagleman, 2007.

Matthews, W. J., Stewart, N. & Wearden, J. H. 'Stimulus intensity and the perception of duration'. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 37, 303–13 (2011).

Droit-Volet, S., Fayolle, S. L.&Gil, S. 'Emotion and time perception: effects of film-induced mood'. *Frontiers In Integrated Neuroscience*, 5, 33 (2011).

Levy, F.&Swanson, J. M. 'Timing, space and ADHD: the dopamine theory revisited'. *Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*, 35, 504–11 (2001).

Parsons, B. D. et al. 'Lengthened temporal integration in schizophrenia'. *Neuropsychologia*, 51, 372–6 (2013).

Franck, N. et al. 'Altered subjective time of events in schizophrenia'. *Journal of Nervous and Mental Disease*, 193, 350–3 (2005).

Arzy, S., Molnar-Szakacs, I.&Blanke, O. 'Self in time: imagined self-location influences neural activity related to mental time travel'. *Journal of Neuroscience*, 28, 6502–7 (2008).

Kolb, B. et al. 'Experience and the developing prefrontal cortex'. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 109 (suppl.), 17186–93 (2012).

Cooper, B. B. 'The science of time perception: stop it slipping away by doing new things'. *Buffer Blog* (2013).

Brown, J. 'Motion expands perceived time. On time perception in visual movement fields'. *Psychologische Forschung*, 14, 233–48 (1931).

Eagleman, 2008; см. также Schiffman, H. R.&Bobko, D. J. 'Effects of stimulus complexity on the perception of brief temporal intervals'. *Journal of Experimental Psychology*, 103, 156–9 (1974).

Lucentini, J. 'It's neuron time'. *Science*, 17, 32–3 (Nov. 2003).

Mitchell, C. T.&Davis, R. The perception of time in scale model environments'. *Perception*, 16, 5–16 (1987).

DeLong, A. J. 'Phenomenological space-time: toward an experiential relativity'. *Science*, 213, 681–3(1981).

Rudd, M., Vohs, K. D.&Aaker, J. 'Awe expands people's perception of time, alters decision making and enhances well-being'. *Psychological Science*, 23, 1130–6 (2012).

Sergent, C, Baillet, S. & Dehaene, S. 'Timing of the brain events underlying access to consciousness during the attentional blink'. *Nature and Neuroscience*, 8, 1391–1400 (2005); Libet, B. *Mind Time: The Temporal Factor in Consciousness*. (Harvard University Press, 2004).

Синаптические связи в коре головного мозга млекопитающих затухают на расстоянии от 50 мкм до 200 мкм вне зависимости от параметров конкретного раздражителя. Petreanu, L. et al. 'The subcellular organization of neocortical excitatory connections'. *Nature*, 457, 1142–5 (2009). Romand, S. et al. 'Morphological development of thick-tufted layer v pyramidal cells in the rat somatosensory cortex'. *Frontiers in Neuroanatomy*, 5, 5 (2011). Perin, R., Berger, T. K.&Markram, H. 'A synaptic organizing principle for cortical neuronal groups'. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 5419–24 (2011). Boudkkazi, S., Fronzaroli Molinieres, L.&Debanne, D. 'Presynaptic action potential waveform determines cortical synaptic latency'. *Journal of Physiology*, 589, 1117–31 (2011).

Chakraborty, S., Sandberg, A.&Greenfield, S. A. 'Differential dynamics of transient neuronal assemblies in visual compared to auditory cortex'. *Experimental Brain Research*, 182, 491–8(2007).

В то же время медленное распространение активности внутри ансамбля, занимающее сотни миллисекунд, в некоторых случаях может быть связано с аддитивным эффектом большого числа синаптических связей – сложный и «громоздкий» процесс нейротрансмиссии будет ощутимо замедлять передачу сигнала.

Hestrin, S., San, P.&Nicoll, R. A. 'Mechanisms generating the time course of dual component excitatory synaptic currents recorded in hippocampal slices'. *Neuron*, 5, 247–53 (1990). Salin, P. A.&Prince, D. A./Spontaneous GABAA receptor-mediated inhibitory currents in adult rat somatosensory cortex'. *Journal of Neurophysiology*, 75, 1573–88 (1996). Katz, B.&Miledi, R. 'The measurement of synaptic delay, and the time course of acetylcholine release at the neuromuscular junction'. *Proceedings of the Royal Society of London B. Biological Sciences*, 161, 483–95 (1965). Sayer, R. J., Friedlander, M. J.&Redman, S. J. 'The time course and amplitude of EPSPs evoked at synapses between pairs of CA3/CA1 neurons in the hippocampal slice'. *Journal of Neuroscience*, 10, 826–36 (1990).

Salami, M. et al. 'Change of conduction velocity by regional myelination yields constant latency irrespective of distance between thalamus and cortex'. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100, 6174–9(2003).

Taber, K. H.&Hurley, R. A. 'Volume transmission in the brain: beyond the synapse'. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*, 26, iv, 1–4 (2014); см. также Agnati, L. F. et al. 'Information handling by the brain: proposal of a new «paradigm» involving the roamer type of volume transmission and the tunneling nanotube type of wiring transmission'. *Journal of Neural Transmission* (2014).

Cheramy, A., Leviel, V.&Glowinski, J. 'Dendritic release of dopamine in the substantia nigra'. *Nature*, 289, 537–42 (1981). Greenfield, S. et al. 'In vivo release of acetylcholinesterase in cat substantia nigra and caudate nucleus'. *Nature*, 284, 355–7 (1980). Greenfield, S. A. 'The significance of dendritic release of transmitter and protein in the substantia nigra'. *Neurochemistry International*, 7, 887–901 (1985). Nedergaard, S., Bolam, J. P.&Greenfield, S. A. 'Facilitation of a dendritic calcium conductance by 5-hydroxytryptamine in the substantia nigra'. *Nature*, 333, 174–7 (1988). Chen, B. T. et al. 'Differential calcium dependence of axonal versus somatodendritic dopamine release, with characteristics of both in the ventral tegmental area'. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 5, 39 (2011). Mercer, L, del Fiacco, M.&Cuello, A. C. 'The smooth endoplasmic reticulum as a possible storage site for dendritic dopamine in substantia nigra neurones'. *Experientia*, 35, 101 -3 (1979).

Щелевые контакты формируются коннексонами – каналами, каждый из которых состоит из 6 белковых субъединиц – коннексинов.

Draguhn, A. et al. 'Electrical coupling underlies high-frequency oscillations in the hippocampus in vitro . *Nature*, 394, 189–92 (1998).

Collins, T. F. T. et al. 'Dynamics of neuronal assemblies are modulated by anaesthetics but not analgesics'. *European Journal of Anaesthesiology*, 24, 609–14 (2007).

Chakraborty, Sandberg&Greenfield, 2007.

Kendig, J. J., Grossman, Y.&MacIver, M. B. 'Pressure reversal of anaesthesia: a synaptic mechanism'. *British Journal of Anaesthesia*, 60, 806–1 6 (1988).

Włodarczyk, A., McMillan, P. F. & Greenfield, S. A. 'High pressure effects in anaesthesia and narcosis'. *Chemical Society Reviews*, 35, 890–8 (2006).

Wu, J.-Y, Xiaoying Huang&Chuan Zhang. 'Propagating waves of activity in the neocortex: what they are, what they do'. *Neuroscientist*, 14, 487–502 (2008); см. также Muller, L.&Destexhe, A. 'Propagating waves in thalamus, cortex and the thalamocortical system: experiments and models'. *Journal of Physiology – Paris*, 106, 222–38(2012).

Ferreira, P. G. *The State of the Universe*. (Phoenix, 2007).