

Себастьян Сеунг

КОННЕКТОМ



Как мозг делает нас тем,
что мы есть



U N I V E R S U M

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

Sebastian Seung

Connectome

How the Brain's Wiring Makes
Us Who We Are

СЕБАСТЬЯН СЕУНГ

КОННЕКТОМ

Как мозг делает нас тем,
что мы есть

4-е издание



Москва
Лаборатория знаний

УДК 612
ББК 28.707
С28

Серия основана в 2013 г.
Перевод с английского Алексея Капанадзе
Ведущий редактор серии Ирина Опимах
Издание опубликовано по договоренности
с Levine Greenberg Literary Agency, Inc.
и литературным агентством «Синописис».

Сеунг С.

С28 Коннектом. Как мозг делает нас тем, что мы есть / С. Сеунг ; пер. с англ. А. Капанадзе. — 4-е изд. — М. : Лаборатория знаний, 2018. — 440 с. : ил. — (Universum).

ISBN 978-5-00101-092-0

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

В своей книге Себастьян Сеунг, известный американский ученый, профессор компьютерной нейробиологии Массачусетского технологического института, рассказывает о самых последних результатах, полученных на пути изучения коннектома человека, и о том, зачем нам это все нужно.

УДК 612
ББК 28.707

12+

Научно-популярное издание

Серия: «Universum»

Сеунг Себастьян

КОННЕКТОМ.

КАК МОЗГ ДЕЛАЕТ НАС ТЕМ, ЧТО МЫ ЕСТЬ

Ведущий редактор *И. В. Опимах*. Художественное оформление: *И. Е. Марев*

Художник *Н. А. Новак*. Технический редактор *Е. В. Денюкова*

Корректор *Е. Н. Клитина*. Компьютерная верстка: *С. А. Янковая*

Подписано в печать 12.12.17. Формат 60 × 90/16.

Усл. печ. л. 27,5. Заказ

Издательство «Лаборатория знаний»

125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3. Телефон: (499) 157-5272,

e-mail: info@pilotLZ.ru, <http://www.pilotLZ.ru>

Copyright © 2012 by Sebastian Seung

© Перевод на русский язык, оформление.

Лаборатория знаний, 2018

ISBN 978-5-00101-092-0

Оглавление

Введение	7
Часть первая. <i>Имеет ли значение размер?</i>	23
Глава 1. Гениальность и безумие	25
Глава 2. Пограничные конфликты	47
Часть вторая. <i>Коннекционизм</i>	63
Глава 3. Нет нейрона, который был бы как остров	65
Глава 4. Кругом одни нейроны	90
Глава 5. Собрание воспоминаний	107
Часть третья. <i>Природа и воспитание</i>	131
Глава 6. Разведение генов	133
Глава 7. Обновление нашего потенциала	152
Часть четвертая. <i>Коннектомика</i>	173
Глава 8. Видеть — значит верить	175
Глава 9. По следу	197
Глава 10. Вырезание фрагментов	215
Глава 11. Взлом кода	233
Глава 12. Выстраивание сравнений	252
Глава 13. Внесение изменений	269
Часть пятая. <i>По ту сторону человеческой природы</i>	287
Глава 14. Морозить или мариновать?	289
Глава 15. Сохранить как...	314
Эпилог	338
Благодарности	342
Примечания	344
Библиография	414
Источники иллюстраций	438

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

Введение

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

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

Как ни удивительно, лес этот уместается в емкости диаметром меньше фута. И подобных лесов на Земле семь миллиардов. Случилось так, что и вам выпало присматривать за таким. Речь идет о лесе, который произрастает внутри вашего черепа. А деревья в лесу — особые клетки, именуемые нейронами. Задача нейробиологии¹ — исследовать эти загадочные ветви, приручить джунгли нашего сознания (см. рис. 1).

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

¹ В последние 5–6 лет в отечественной научно-популярной литературе всё чаще встречается термин «нейронаука», прямая калька с английского термина «neuroscience». Нейронаука не ограничивается собственно биологией и может включать в себя, например, нейropsихологию. В дальнейшем мы будем в зависимости от контекста использовать термины «нейробиология», «нейрофизиология» и лишь изредка — более обобщенный термин «нейронаука». (Здесь и далее — примечания переводчика.)

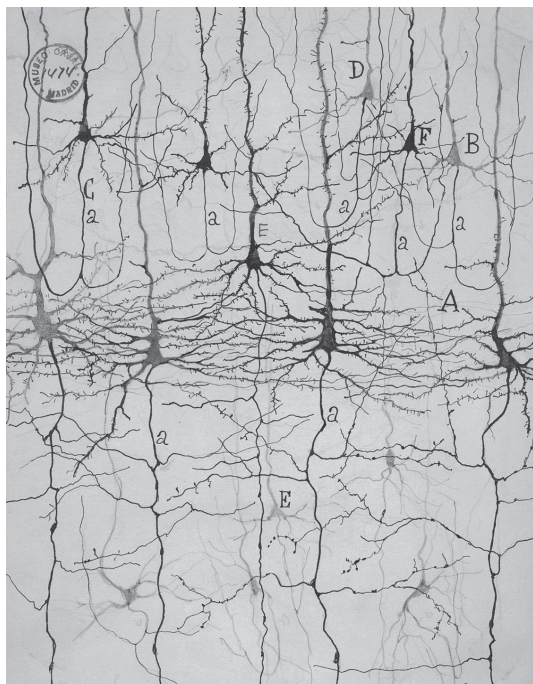


Рис. 1. Джунгли сознания: нейроны коры головного мозга, окрашенные по методу Камилло Гольджи (1843–1926) и зарисованные Сантьяго Рамоном-и-Кахалем (1852–1934)¹

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

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

¹ Подробнее о Гольджи и Кахале см. в главе 8.

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

Я сам нейробиолог и в свое время лично ощутил этот паскалевский ужас. Ощущал я и связанное с ним смущение. Иногда мне приходится публично выступать, рассказывая о положении дел в нашей сфере науки. После одного из таких выступлений меня буквально засыпали вопросами. Что вызывает депрессию и шизофрению? В чем необычность мозга Эйнштейна или Бетховена? Как научить моего ребенка лучше читать? Мои ответы не удовлетворили слушателей, и я увидел разочарование на их лицах. Наконец я со стыдом извинился перед аудиторией. «Простите, — сказал я. — Вы подумали, что я профессор, поскольку многое знаю. Но на самом деле я профессор, потому что знаю, как многого я *не знаю*».

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

Устрашенные сложностью человеческого мозга, многие нейробиологи предпочли изучать животных, поскольку нейронов у них значительно меньше, чем у человека. Червь, изображенный на рис. 2, лишен того органа, который мы именуем мозгом. Нейроны у него рассеяны по всему телу, а не сосредоточены в отдельном органе. Вместе они



Рис. 2. Круглый червь *C. elegans*

образуют нервную систему, состоящую всего из трех сотен нейронов. Что ж, с этим еще можно попробовать справиться. Наверняка даже Паскаль, с его склонностью к депрессии при мысли о бесконечной сложности природы, не испугался бы нейронного леса червя *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) — так по-научному называется этот червячок длиной всего один миллиметр.

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

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

Инженеры знают: для того, чтобы сделать радиоприемник, нужно определенным образом соединить проводами различные детали — резисторы, конденсаторы, транзисторы. Нервная система представляет собой набор нейронов, связанных «проводами» — тонкими ветвями, о которых мы говорили выше. Вот почему карту, показанную на рис. 3, первоначально называли «монтажной схемой» или «схемой

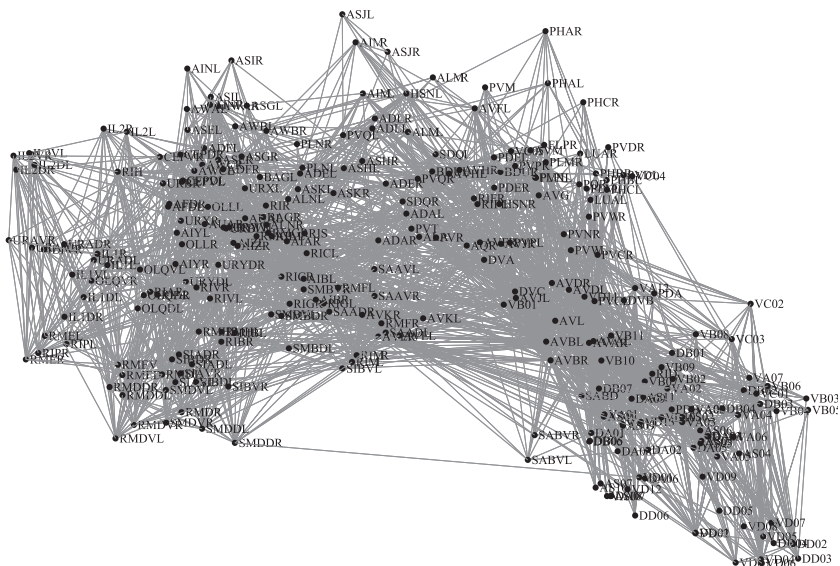


Рис. 3. Карта нервной системы *C. elegans* — «коннектом»

подключения». Недавно появился новый термин — *коннектом*. Это слово ассоциируется не с электротехникой, а с геномикой. Вероятно, вы слышали про ДНК — длинную молекулу, напоминающую цепь. Отдельные звенья этой цепи — *нуклеотиды*, небольшие молекулы четырех типов, обозначаемые буквами А, Г, Ц и Т¹. Ваш *геном* — последовательность нуклеотидов вашей ДНК, представляемая как длинный ряд букв четырехбуквенного алфавита. На рис. 4 показан фрагмент этой книги в три миллиарда знаков. Полный ее объем — миллион страниц.

А коннектом — вся совокупность связей между нейронами нервной системы. Сам термин (как и *геном*) предполагает полноту охвата. Коннектом — не одна связь и даже не множество. Это *все* связи. Ваш мозг в принципе можно исчерпывающе описать такой же диаграммой, как и для червя *C. elegans*, только эта диаграмма будет куда сложнее. Позволит ли ваш коннектом узнать о вас что-нибудь интересное?

¹ Аденин, гуанин, цитозин и тимин.

l1 genomic contig, GRCh37.p5 Primary Assembly
GAATTCTACATTAGAAAAATAAACCATAGCCTCATCACAGGCACTTAAATACACTGAAGCTGCCAAAAACA
ATCTATGCTTTTTGCCCTACGTACTTATCAACTTCCCTCATAGCAAACCTGGGAGAAAAAGCAATGGAATGAA
TAAAAATGATAGCCACAAAAATCAAGGTGGGAGAAATACTTATTATATGTCCATAAAAAATTTTAAATTAAT
GCAAAGTATTAACACCAATGATTGCAGTAATACAGATCTTACAAAATGATAGTTTTAGTCTGAAACAGGACT
ATCCAAAAGTTAATTTTCTATAGTAACAGTTTTTAAATAAAAATCAATTCSTGAAACACATAAAAATGGT
CCAGAGATGGAAGTAATTTATGGAGTTTGATGTTATGTCAGGGTAATACATGATTATATAAATTAACAG
GTTTCTTTTTAAATCAGSTATATCAATAGAAAAATAAATGTAGGAATCAAGAGACTCATTCTGTCCATCT
GTGATAGTCCATCATGATACTGCATTTGCAAGTCATGTCTCCAAAAATATGGTTTTAGCTCAACACSTGAG
TGACTATAGGAAACCAGAAACCAGGCTGGGCGCTAAAGATGCAAAGATGAATGAGACATCATCTCTGCCG
TCCAAAAGTCTACTGTCTAGTGGGAGAGTTACACAGCTAAGGACAGTAATTAATAAGAGCTAATAAAGTG
AAAATAAGATAAATTAATAATACAAGATTACAGGGAAGGTTTTCCAAAGTCAATGAGGCCTCAAATGAAT
STTGAAAGTGTGCAAGGATTAACCAAATGAAGAATGTGTAAGTTTTTCAAACAAAAAGGAACAGCATGA
GCAAATGCAAGGAGGCSTAAAATAAAGAGATGTGTAAGAGAGGTGTAAGCAGCTTTGTGCTACTGCSTGAT
AATTAGAAGAATATCGGGAGTAACAAGAGCTATAGAAGAGAGTCAAAATTAAGAAAAATATTTATTTAAA
TTAATAAGAAATTTATAGCATAAGGAATAGTAGGACCATTAATGTTTTAATAAAGATGATGCTTCTTTTT
TAATATTTATTTTTATTATACTTTAAGTCTAGGGTACATGTGCACAACGTGCAGGTTACATATGTATAC
ATGTGCCSTGTTGGTGTGCTGCACCCATTAACSTCATATTTACATTAGGATGTCTCTCSTAATGCTATCCC
TCCCCCTCCCCAACCCCAACAACAGGCCGCGGTGTGTGATATCCCSTTCCSTGTGTCCAAGTGTCTCSA
TTGTTCAAGTCCACSTATGAGTGAACAATGCGGTGTTGGTTTTGTTCTTGGATAGATGATGCTT
TAAATTGACCACTSTAGTGCATTTGTGGGAGGAAAAAAGATTTTAAACAAGACTAGAAACAGAATAAT
TAGAAAAATGCAACTACAATGCAGATGAGTGATTATCAAGGCTGAACTGAATAGTGGAAATAGAGATAA

Рис. 4. Небольшой фрагмент человеческого генома

Прежде всего, он сообщит вам, что вы уникальны. Конечно, вы и так это знаете, но раньше было на удивление непросто указать, в чем же конкретно заключается ваша уникальность. Ваш коннектом очень отличается от моего. Они не стандартны, как у червей. Это вполне согласуется с идеей, что каждый человек уникален. Такого рода уникальностью черви не обладают (попрошу червей не обижаться).

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

[. . .]

Часть первая

*Имеет ли значение
размер?*

Гениальность и безумие

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

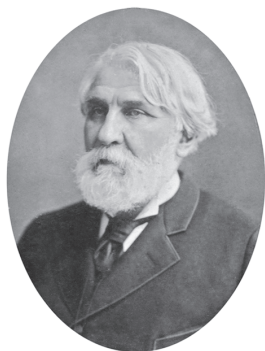
Артур Кит, один из наиболее видных антропологов Англии, так выразил свое недоумение:

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

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

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

Это признание Кита в собственном невежестве поразило меня своей откровенностью. Мысль об Анатоле Франсе как о нейро-Давиде, торжествующем над миром большоголовых голиафов, заставила меня улыбнуться. Как-то раз,



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



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

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

на одном из научных семинаров, я вслух зачитал эти слова Кита. Присутствовавший на семинаре французский физик-теоретик лукаво заметил: «В конце концов, Анатоль Франс не был таким уж великим писателем». Аудитория рассмеялась — и рассмеялась снова, когда я напомнил, что его «дилетантская писанина» принесла ему в 1921 году Нобелевскую премию по литературе.

* * *

Случай Анатоля Франса показывает, что для отдельного человека размер мозга и уровень интеллекта не связаны между собой. Иными словами, нельзя использовать первый параметр, чтобы с уверенностью предсказывать второй, если речь идет о каком бы то ни было человеке. Однако, как выясняется, эти две характеристики имеют *статистическую связь*: она проявляется при анализе средних величин для большого количества людей. В 1888 году английский ученый Фрэнсис Гальтон, человек многостороннего таланта, опубликовал статью «К вопросу о размерах головы у студентов Кембриджского университета». Он разделил студентов на три категории по тем оценкам, которые они получали, и продемонстрировал, что средний размер головы у лучших студентов чуть больше, нежели у худших.

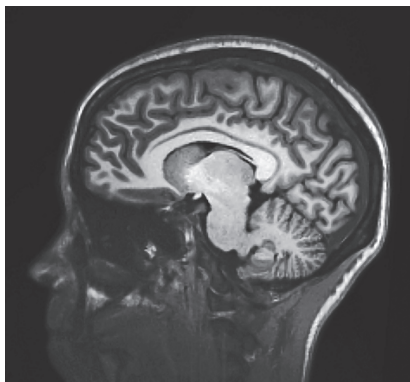


Рис. 6. Поперечное сечение мозга, полученное с помощью МРТ

В последующие годы проводилось много аналогичных исследований, методы которых становились всё более изощренными. На смену анализу оценок за учебу пришли стандартные тесты на интеллектуальные способности — тесты на IQ, как их обычно называют. Гальтон оценивал величину головы, измеряя ее длину, ширину и высоту, а затем перемножая полученные числа. Другие исследователи измеряли окружность головы при помощи ленты-сантиметра. Самые отважные предпочитали извлекать мозг умерших и взвешивать его. Сейчас все эти методы кажутся примитивными, ведь в наше время ученые могут видеть живой мозг прямо сквозь череп, используя магнитно-резонансную томографию (МРТ). Эта потрясающая технология дает возможность получать изображения поперечных сечений мозга на заданной глубине (рис. 6).

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

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

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

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

Научные статьи в этой сфере обычно пишутся сложным ученым языком, они пестрят цитатами и сносками, однако невозможно избавиться от ощущения, что все эти измерения голов — занятие немного смешное. Да и сам Гальтон был человеком, мягко говоря, чудаковатым. Его девиз — «Измерить и сосчитать всё, что можно» — выдает его неумеренное, почти абсурдное пристрастие к количественной оценке всего на свете. В своих воспоминаниях он пишет о том, как пытался создать «Британскую карту красоты». Прогуливаясь по улицам больших городов, он тайком проделывал дырки в листе бумаги, который прятал в кармане. Эти отверстия на свой лад отражали красоту проходящих женщин. Существовало три градации: «привлекательная», «невыразительная» и «отталкивающая». Каков же оказал-

ся результат исследования? «Я обнаружил, что на первом месте по женской красоте стоит Лондон, на последнем же — Абердин».

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

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

* * *

Свести всю структуру мозга к одному-единственному показателю вроде общего объема или веса — какой-то слишком уж поверхностный подход, не так ли? Даже беглый осмотр мозга покажет, что в нем имеется множество зон и все они выглядят разными даже для невооруженного

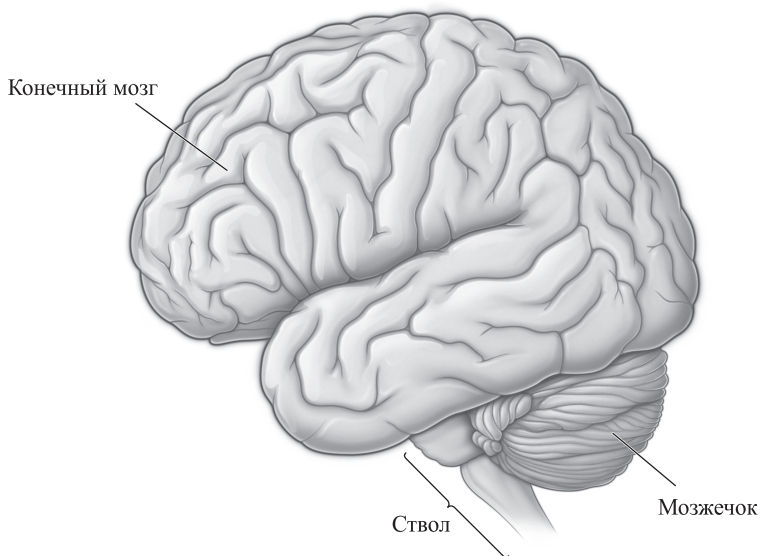


Рис. 7. Три части мозга (конечный мозг, мозжечок, ствол мозга)

взгляда. Конечный мозг¹, мозжечок и ствол мозга (рис. 7) легко можно увидеть, если аккуратно извлечь мозг из черепной коробки, как проделывали при посмертном вскрытии тел Анатоля Франса и Тургенева.

Ствол поддерживает конечный мозг, подобный плоду на стебле, а мозжечок украшает место их соединения, словно лист. Мозжечок отвечает за плавность и изящество наших движений, однако его удаление сказывается главным образом на умственных способностях. Повреждение ствола может убить, поскольку он управляет многими жизненно важными функциями, в том числе дыханием. Обширное поражение конечного мозга оставляет жертву живой, но в бессознательном состоянии. Конечный мозг обычно считают наиболее важной из этих трех частей, если речь идет об уровне человеческого интеллекта: она имеет важнейшее значение для всех типов наших умственных способностей. Кроме того, это самая крупная из трех частей мозга, она занимает около 85% его общего объема.

¹ Конечный мозг — передний отдел головного мозга: полушария, покрытые корой, мозолистое тело, полосатое тело и обонятельный мозг.

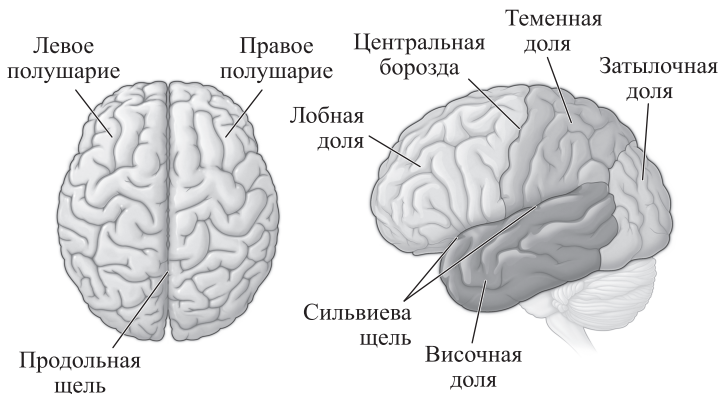


Рис. 8. Конечный мозг делится на полушария (*слева*), а каждое полушарие делится на доли (*справа*)

Почти вся поверхность конечного мозга покрыта слоем особой ткани, имеющим толщину всего несколько миллиметров. Это *кора головного мозга* или просто кора. Занимая площадь не меньше полотенца для рук, кора помещается в черепную коробку лишь благодаря своей складчатости. Эти складки как раз и придают полушариям мозга сморщенный вид. Самая четкая граница, имеющаяся в коре, видна сверху: это большая борозда, идущая от передней части мозга к задней (рис. 8, слева). Эта борозда, именуемая продольной щелью, разделяет левое и правое полушария конечного мозга, «левый мозг» и «правый мозг», как их называют в поп-психологии.

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

На поверхности мозга существует множество других бороздок, поменьше. Некоторые из них у всех людей расположены примерно одинаково. У них есть названия, и сегодня эти бороздки используются как своего рода ориентиры на местности. Но имеет ли смысл такое разделение коры по бороздкам? Они действительно представляют собой значимые границы — или же это просто какой-то незначительный побочный результат того, что коре пришлось смяться складками, чтобы поместиться внутри черепа?

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

Иоганн Спурцхайм, ученик Галля, позже ввел термин *френология*, более знакомый нам, чем то название, которое дал этой теории Галль. Френологическая карта (см. рис. 9) показывает участки мозга, соответствующие функциям «восприимчивости», «твердости», «идеализма» и т. п. Конкретно *эти* соответствия ныне признаны пустыми фантазиями, основанными на шатких доказательствах, однако френологи в конечном счете все-таки оказались скорее правы, чем неправы. Их идея об особой роли коры сейчас признана повсеместно, а их подход, основанный на привязке умственных и психических функций к определенным областям коры, по-прежнему встречает серьезное и уважительное отношение ученых. Теперь он называется кортикальным или церебральным *локализационизмом*.



Рис. 10. Мозг Тана с поврежденным центром Брока

нии с тридцатилетнего возраста. К моменту поступления в больницу он успел практически полностью утратить дар речи и способен был произносить лишь односложное «тан», которое и стало его кличкой. Поскольку Тан мог общаться с другими при помощи жестов, представлялось, что он понимает человеческий язык, хоть и не может говорить.

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

На другой же день Брока сообщил о своем открытии в Антропологическом обществе. Он заявил, что поврежденный участок мозга Тана отвечал за произнесение слов и что эту функцию следует отличать от функции понимания речи. Сегодня мы называем утрату речевых навыков *афазией*. Утрата собственно дара речи называется афазией Брока, а поврежденный участок коры головного мозга Тана — центром Брока. Эта находка позволила Брока разрешить спор, который длился десятилетиями. Френолог Галль еще в начале XIX века предполагал, что лингвистические функции сосредоточены в лобной доле мозга, но современники отнеслись к его идее скептически. Брока же наконец-то сумел обеспечить для нее хоть какое-то убедительное

доказательство и даже указал, где именно в лобной доле находится соответствующий участок.

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

В 1874 году немецкий нейрофизиолог и психоневропатолог Карл Вернике описал иной тип афазии. В отличие от Тана его пациент мог свободно говорить, однако фразы получались бессмысленные. Кроме того, больной не понимал тех вопросов, которые ему задавали. Посмертное вскрытие выявило повреждения части височной доли левого полушария. Вернике пришел к выводу, что эта утрата понимания — первичное следствие повреждений упомянутой зоны. Вторичное же следствие — бессмысленные речи: возможно, человеку необходимо самому понимать, что он говорит, дабы произносить нечто осмысленное. Совокупность симптомов, вызванных повреждением так называемого центра Вернике, сегодня называют афазией Вернике.

Брока и Вернике совместно заложили базу для концепции *двойной диссоциации* речи (произнесения слов) и понимания (восприятия обращенных к человеку слов). Повреждение центра Брока препятствует произнесению слов, однако понимание при этом сохраняется; повреждение центра Вернике уничтожает понимание, при этом щадя дар речи. Перед нами важное свидетельство того, что сознание человека имеет модульную структуру. Пожалуй, кажется вполне очевидным, что речевые способности отличаются от других умственных способностей, поскольку из всех

животных речью владеют лишь люди; однако менее очевидно (или *было* менее очевидно до открытий Брока и Вернике), что эти способности можно подразделить на отдельные модули — производства речи и ее восприятия.

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

* * *

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

Харви сразу установил, что вес мозга Эйнштейна был средним или даже чуть меньше среднего. Таким образом, сам по себе размер мозга не мог объяснить, почему Эйнштейн обладал такими необычайными способностями. Сандра Вителсон и ее коллеги в 1999 году предложили другое объяснение. На основании фотографий, которые Харви делал при вскрытии, они предположили, что у Эйнштейна был увеличен участок коры, именуемый нижней теменной долькой (это часть теменной доли мозга). Возможно, Эйнштейн был гением, потому что имел необычно большую *часть* мозга. Сам Эйнштейн рассказывал, что зачастую мыслит скорее образами, чем словами, а специалистам известно, что теменная доля мозга как раз и отвечает за визуальное и пространственное мышление.

[. . .]



© Kris Krug/PopTech



Каждый человек уникален, однако чем обусловлена эта уникальность? Наш геном определяет цвет глаз, волос и даже некоторые черты характера. А ведь личность — это еще и наши привязанности, память о победах и поражениях, о первой любви и взрослой страсти... Именно все это и делает нас тем, что мы есть. Но вот как?

Себастьян Сеунг, известный ученый, профессор компьютерной нейробиологии в Массачусетском технологическом институте (США), полагает, что наша индивидуальность определяется не только генами, но и коннектомом, совокупностью всех связей между клетками мозга. Построение карты межнейронных связей — грандиозная по важности и сложности задача, но если она будет решена, мы, наконец, поймем, почему один человек не похож на другого, раскроем тайны памяти и рождения мысли и сможем лечить душевные заболевания, подобные аутизму и шизофрении.

U N I V E R S U M

*О науке и ее творцах –
самое интересное и невероятное*