

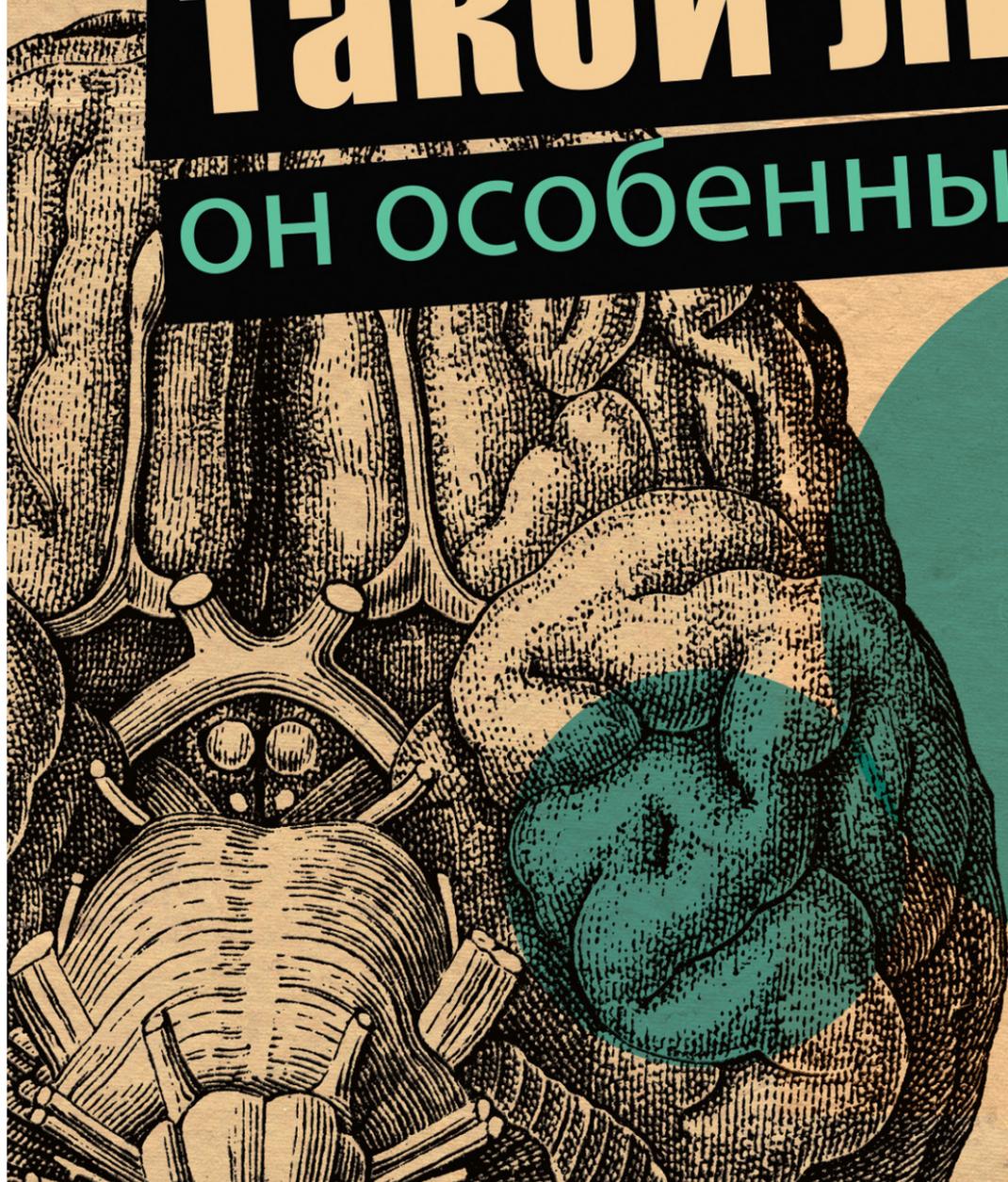


Сюзана  
Херкулано-Хузел

МОЗГ

такой ли?

он особенный?



Загадки мозга

Сюзана Херкулано-Хузел

**Мозг. Такой ли он особенный?**

«Издательство АСТ»

2016

УДК 612  
ББК 28.707.3

**Херкулано-Хузел С.**

Мозг. Такой ли он особенный? / С. Херкулано-Хузел —  
«Издательство АСТ», 2016 — (Загадки мозга)

ISBN 978-0-262-03425-8

Люди – потрясающие существа. Наш мозг ежедневно использует до 25 % всей энергии, которая необходима нашему организму. За сравнительно короткий промежуток времени эволюции его размер существенно увеличился, позволив нам оставить наших предков, человекообразных обезьян, позади. Так значит человеческий мозг можно назвать особенным? А вот и нет, Сюзана Херкулано-Хузел пытается доказать, что размер нашего мозга не так уж и важен. Значение имеет только кора головного мозга и количество нейронов. Все это произошло благодаря изобретению нашими предками около 1,5 миллиона лет назад более эффективного способа получения калорий: приготовление пищи. Потребление большего количества калорий за маленький промежуток времени позволило нашему мозгу обзавестись большим количеством нейронов во все еще довольно маленькой коре головного мозга, которая отвечает за поиск закономерностей, рассуждение и разработку технологий. Это оригинальный взгляд на то, как в процессе становления человека незаурядным не было ничего особенного.

УДК 612  
ББК 28.707.3

ISBN 978-0-262-03425-8

© Херкулано-Хузел С., 2016

© Издательство АСТ, 2016

# Содержание

Предисловие	7
Конечно, мы особенные, не так ли?	7
Благодарности	9
1. Люди рулят!	11
Люди наверху: эволюция как прогресс	13
Человеческий мозг, который больше, чем он должен быть	19
Коэффициент энцефализации	24
Проблема энцефализации	26
Конец ознакомительного фрагмента.	28

# Сюзана Херкулано-Хузел

## Мозг. Такой ли он особенный?

*Моим родителям, Селене и Дарли, – они дали мне крылья и научили летать.*

*Джону Каасу – он дал мне мужество взлететь на головокружительную высоту.*

*SUZANA HERCULANO-HOUZEL  
THE HUMAN ADVANTAGE  
A NEW UNDERSTANDING OF HOW  
OUR BRAINS BECAME REMARKABLE*

© 2016 Massachusetts Institute of Technology

© ООО «Издательство АСТ», 2019

## Предисловие

### Конечно, мы особенные, не так ли?

Люди удивительны и неподражаемы. Наш мозг в семь раз превосходит размер того мозга, который необходим нам в соответствии с размерами нашего тела, и развивается он чрезвычайно долго. Кора нашего мозга – самая большая его часть в сравнении с массой остального мозга, а самая большая часть коры – это префронтальная кора. Человеческий мозг потребляет огромное количество энергии: 25 % калорий, затрачиваемых нами в сутки, уходят на обеспечение работы головного мозга. По меркам эволюции наш мозг стал громадным за очень короткое время, оставив далеко позади мозг наших ближайших родичей – человекообразных обезьян с их тощими мозгами, которые не составляют по массе и трети нашего мозга. Значит, человеческий мозг особенный, правильно?

Нет, неправильно, согласно полученным в моей лаборатории новым данным, с которыми вы познакомитесь, наш мозг замечателен – это так, но он не особенный, в том смысле, что он не является исключением из эволюционных правил. Тем не менее, как представляется, наш мозг самый способный на нашей планете, во всяком случае, это мы изучаем мозг остальных животных, а не они – наш. Но если наш мозг не является эволюционным исключением, то в чем же тогда заключается преимущество человека?

«Преимущество человека» предлагает вам отказаться от предубеждения, согласно которому мы считаем людей исключительными существами, и вместо этого взглянуть на человеческий мозг в свете эволюции и новых данных, каковые позволяют увидеть, что нечто другое делает наши способности уникальными, а именно то, что наш мозг превосходит мозг других животных не потому, что мы являемся исключением эволюции, а потому, что по простым эволюционным причинам в нашей коре содержится наибольшее число нейронов, недоступное другим животным видам. Я возьму на себя смелость утверждать, что преимущество человека заключается, во-первых, в том факте, что мы принадлежим к приматам и, как у таковых, наш мозг построен по весьма экономичному принципу, что позволяет уместить большое число нейронов в относительно небольшом объеме, в сравнении с другими млекопитающими. Во-вторых, мы принадлежим к тому виду приматов, которые получили преимущество благодаря тому факту, что полтора миллиона лет назад наши предки проделали трюк, который позволил их потомкам легко и непринужденно получить огромное количество корковых нейронов, а по данному показателю с нами не может соперничать ни одно животное; и этот трюк – приготовление пищи. В-третьих и в-последних, вследствие быстрого роста головного мозга, которое стало возможным из-за потребления дополнительных калорий (благодаря готовке и горячей пище), мы стали видом, обладающим наибольшим числом нейронов в коре головного мозга – части мозга, ответственной за отыскание закономерностей, логическое мышление, предвосхищение неприятностей и подготовку к ним, за изобретение технологий и передачу их потомкам в рамках культурной традиции.

Сравнение человеческого головного мозга с мозгом десятков других видов животных излечивает от высокомерия и учит смирению; именно это сравнение напоминает мне, что у нас нет никаких причин считать, что наш мозг является эволюционным исключением и что мы были тем или иным путем «избраны». Я надеюсь, что это новое понимание человеческого мозга поможет нам лучше оценить наше место на Земле как вида, в котором хотя и нет ничего экстраординарного (так как наш вид подчиняется тем же эволюционным законам, которые управляют развитием всех прочих приматов), но который все же является на самом деле замечательным в отношении своих когнитивных способностей и, благодаря выдающемуся числу нейронов,

возымел возможность изменять свое собственное будущее, как в лучшую, так и в худшую сторону.

*Рио-де-Жанейро, январь 2015 года*

## Благодарности

Эта книга подытоживает десятилетнюю работу, которая стала возможной в первую очередь при поддержке и щедрости Роберто Лента, который благодаря своему авторитету в научном сообществе смог открыть новый отдел в Институте биомедицинских наук Федерального университета Рио-де-Жанейро, который я возглавила, и поддержал мою безумную идею – превратить мозг в суп, а затем попытаться определить, из чего этот суп состоит. После этого наши пути разошлись, но я до сих пор с благодарностью вспоминаю его наставления.

Джон Каас, выдающийся ученый с кафедры психологии университета Вандербильта, вошел в мою профессиональную жизнь и преобразил ее в 2006 году, когда началось наше сотрудничество. С тех пор мы встречаемся пару раз в год, на научных конференциях или в его лаборатории в Нэшвилле, в Теннесси, где он и его очаровательная жена Барбара Мартин принимали меня (обеденный стол в их квартире был свидетелем рождения многих моих научных статей), кормили (Джон готовит непревзойденную *feijoada*) и согревали мою душу дружбой и содержательными беседами. Коллеги часто считают его моим бывшим консультантом (которым он никогда не был, хотя этим он оказал бы мне честь), но, на самом деле, он сделал для меня нечто намного большее: Джон – мой дорогой друг и своего рода научный отец, человек, который решил присматривать за мной просто потому, что мог это делать. Спасибо вам, Джон, спасибо за все.

Мне посчастливилось в ходе работы повстречать на пути совершенно фантастических людей. Бруно Мота – это одновременно замечательный друг и великолепный сотрудник, он всегда оказывался рядом, когда речь заходила о математической обработке результатов, мы много спорили о том, является ли жизнь оптимальным феноменом (на взгляд физика Моты) или просто достаточно сносной (это мой взгляд как биолога). Пол Мэнджер должен был одарить меня половиной головного мозга слона, но вместо этого доверил мне десятки экземпляров этого органа самых разнообразных животных – крупных и мелких, а заодно и своей чудесной дружбой. Карл Херруп, которого я считаю моим почетным консультантом, всегда оказывал мне неоценимую помощь, давал полезные советы и подбадривал на нелегком и тернистом пути. Как это здорово, что все вы были рядом со мной, друзья.

Работа, на которую я опиралась при написании книги, стала возможной благодаря помощи со стороны многих людей. Помимо Роберто Лента, Джона Кааса и Пола Мэнджера, я хотела бы выразить свою благодарность Кену Катания, лучшему биологу из всех, кого я знаю; Леа Гринберг, Вильсону Джекобу Фильо и их коллективу из USP; Кристине Коллинз и Пейяну Вонгу; и всем ученым, которые участвовали в упомянутых в книге исследованиях, в особенности Карине Фонсека-Азеведо, Фредерико Азеведо, Педро Рибейро, Мариане Габи, Камиле Авелино-де-Соуза, Клеберу Невесу и Родриго Казу. Очень помогли и многие косвенные сотрудники, люди, которые тем или иным способом помогали мне по ходу работы и моего становления в качестве нейроанатома (специальности, которой я не училась в университете): Георг Штридтер, Патрик Хоф, Роб Бартон, Ричард Пассингхэм, Джек Джонсон, Паско Ракич, Чет Шервуд, Леа Крубитцер, Джим Бауэр, Стивен Ноктор, Чарлз Уотсон и Джордж Паксинос. Спасибо всем вам за то, что вы всегда были рядом.

Научные исследования в Бразилии финансируются исключительно федеральными фондами и фондами штатов, и мне хотелось бы поблагодарить CNPq и FAPERJ за финансовую поддержку в течение многих лет. Я также безмерно благодарна фонду Джеймса МакДоннелла за поддержку, которую он оказывал мне с 2010 года, несмотря на то что работы, выполненные на эти деньги, еще только ждут своей публикации.

Великолепные иллюстрации, которыми снабжена книга, выполнены Лореной Кац, талантливой молодой художницей, с которой мне посчастливилось целый год провести в лаборатории, благодаря стипендии от CNPq.

Я благодарю моего редактора из MIT-Press Боба Прайора за предложение написать книгу, за его терпение, когда появление новых данных в очередной раз задерживало выход книги и заставляло менять сроки ее сдачи. Я также благодарна Крису Айеру и Кэтрин Алмейде за их редакторскую поддержку, Джеффри Локриджу за умелое и грамотное редактирование и Кэти Хоуп за ее усилия по продвижению книги.

Эта книга стала читабельной для широкого круга читателей благодаря неоценимой помощи со стороны моей матери, социолога, и дочери, которой было в то время пятнадцать лет, – они читали черновик каждой следующей главы и без церемоний говорили, что в ней было для них непонятно. Все недостатки в тексте тем не менее на моей совести, а не на их. (С другой стороны, мой отец не был мне помощником, потому что у него никогда не было замечаний, а только вопросы, на которые я попытаюсь ответить в следующей книге.)

Мои родители никогда не уставали побуждать меня к тому, чтобы я стала тем, кем я всегда хотела быть – ученым, несмотря на то что это не самая популярная карьера в Бразилии (насколько плох этот выбор, иллюстрируется тем фактом, что моя мама всегда хотела, чтобы я стала музыкантом). Они всегда учили, что не надо бояться оспаривать авторитеты, настояли на изучении мною иностранных языков и научили меня отстаивать мои взгляды, а затем, глубоко вздохнув, купили мне билет на самолет и отправили завершать образование в Соединенные Штаты в нежном возрасте 19 лет, когда бразильцы в большинстве своем живут дома и только-только готовятся к поступлению в колледж. Мои родители дали мне крылья и вытолкнули из гнезда, хотя это и означало для них разлуку со мной. Единственное, чего я хочу, – чтобы они могли гордиться мной.

Последнее, но самое главное – это моя благодарность моей домашней толпе – моим детям, Луизе и Лукасу, и моему мужу Жозе Малдонаду. Спасибо вам, ребята, за ваше терпение, за снисхождение к моему постоянному ношению шапки-невидимки (это единственный способ работать дома; очень рекомендую его!), простите меня за блуждания по дому с отсутствующим взглядом, когда в голове у меня были только числа и расчеты. Спасибо за то, что вы терпеливо выслушивали мои нескончаемые рассказы о новых открытиях в науке, за то, что неустанно подбадривали меня во время работы, за высокую ее оценку. Ваше счастье сделало мою книгу достойной его.

## 1. Люди рулят!

Итак, мы особенные – ну, по крайней мере, так пишут в большинстве книг по нейробиологии. Картина, действительно, впечатляющая: в головном мозге человека 100 миллиардов нервных клеток, в десять раз больше глиальных клеток, очень большая кора, а, кроме того, мозг человека увеличился в объеме в три раза за какие-то полтора миллиона лет – ничтожно малый отрезок времени по масштабам эволюции. В то же время мозг высших обезьян за это время сохранил свой прежний объем – в три раза меньше нашего, причем этот объем сохраняется у них на протяжении 6 миллионов лет. Люди вида *sapiens* сосуществовали с неандертальцами и в какой-то мере смешивались с ними, но в конце концов наш вид возобладал. Мы стали править миром более разнообразными способами, чем любой другой вид животных, когда-либо господствовавших на Земле; современные люди могут жить в любом месте нашей планеты и даже за ее пределами.

За всеми этими достижениями стоит то, что я называю «преимуществом человека». Насколько мне известно и каким бы самонадеянным это ни казалось, факт остается фактом: мы единственный в природе вид, способный изучать самих себя и другие существа и порождать знания, превосходящие те, которые получают непосредственно с помощью естественных органов чувств; мы можем играть этими знаниями, исправлять наши несовершенства с помощью очков, имплантатов и хирургических операций и, таким образом, повышать шансы на выживание, данные нам естественным отбором; мы можем модифицировать окружающую среду в такой степени (к лучшему или к худшему), что получаем возможность селиться в местах, ранее бывших непригодными к проживанию. Мы единственный вид, способный изготавливать орудия для производства других орудий и технологий, которые позволяют нам решать самые разнообразные проблемы; мы совершенствуем эти способности, изыскивая решения все более и более сложных проблем; мы изобретаем способы регистрации полученных знаний и передачи их следующим поколениям методами, не требующими непосредственной демонстрации навыков и знаний. Несмотря на то что всего этого можно достичь и не обладая когнитивными способностями, присущими исключительно нашему виду (подробнее об этом ниже), мы определенно подняли наши способности на такой уровень, что стали недостижимы для всех возможных соперников.

В течение десятилетий ученым казалось, что преимущество человека обусловлено рядом признаков, делающих наш мозг уникальным и причудливым исключением из правила. Гориллы превосходят нас массой тела в два-три раза, но масса их головного мозга составляет лишь одну треть от таковой нашего мозга, то есть масса нашего мозга в семь раз превышает необходимый для нас – по биологическим законам – мозг. Этот мозг дорого нам обходится, так как он потребляет такое количество энергии, какое превосходит все разумные пределы: на работу мозга уходит одна треть всей энергии, потребляемой нашим организмом – на работу мышц и всех остальных органов, притом что масса мозга составляет всего 2 % от массы тела. Правила, по которым работают организмы других животных, не работают у нас. Представляется вполне уместным полагать, учитывая наши достижения, выделяющие нас из всего царства живых существ, что наши необыкновенные умственные способности должны требовать необыкновенного мозга.

На самом деле, при том, чего может достичь наш мозг, он определенно должен быть удивительным и замечательным. Но действительно ли он так необычен? Этот вопрос мы и попробуем разобрать на страницах «Преимущества человека». На самом ли деле наш мозг состоит из ста миллиардов нейронов и триллиона глиальных клеток, как утверждали и утверждают уважаемые специалисты? (В реальности это не так.) Действительно ли масса нашего головного мозга в семь раз больше необходимой? (Это правда, но только в сравнении с высшими обезья-

нами, которые как раз и являются исключениями, а вовсе не мы.) Действительно ли наш мозг потребляет немислимое количество энергии? (Если учесть количество нейронов, то нет.) Но если оказывается, что в человеческом мозге нет ничего особенного, то как он достигает таких замечательных результатов?

Каким образом мы, люди, в отличие от всех прочих биологических видов, достигли таких удивительных умственных способностей, что случилось в ходе эволюции, почему наш вид пре-взошел все остальные? Как получилось, что именно люди, а не высшие человекообразные обезьяны получили столь большой мозг за такое короткое время? На самом ли деле смысл эволюции заключался в безостановочном прогрессе жизненных форм, кульминацией которого стал человек – венец всего живого на Земле?

## Люди наверху: эволюция как прогресс

Нет ничего удивительного, что история о том, как человеческий мозг стал считаться особенным, тесно переплелась с историей самой эволюции, причем долгое время обе эти истории подвергались множеству толкований, опиравшихся на весьма скудные факты.

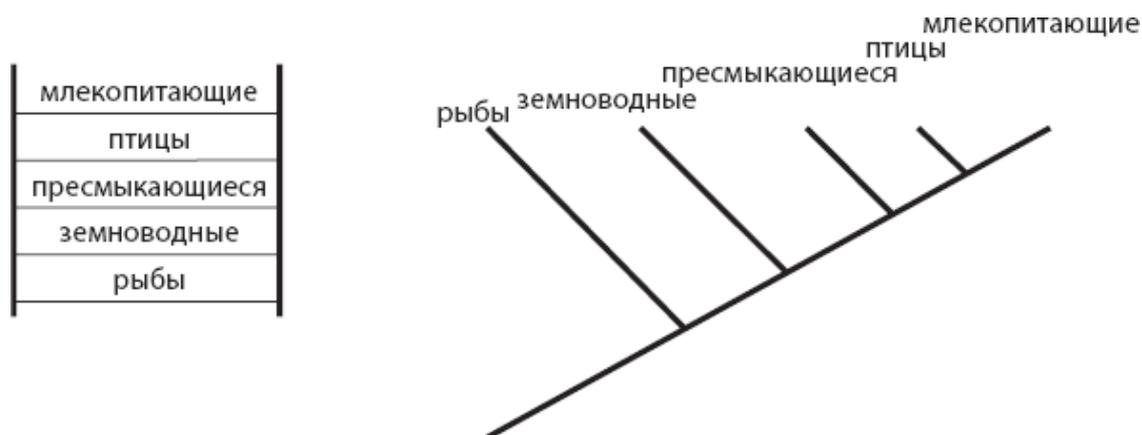
Жизнь изменяется в масштабах геологического времени, она изменялась и изменяется, начиная с момента своего появления около 3,7 миллиарда лет назад. Это факт, который не зависит от каких бы то ни было интерпретаций, как и тот факт, что в ископаемом материале нет человекоподобных существ старше 4 миллионов лет, то есть мы являемся весьма недавним «изобретением». Эти факты изменений жизни с течением времени, изменений, которые теперь называют «эволюцией», были обнаружены и осознаны менее двухсот лет назад. С тех пор непрерывно меняется и само понимание эволюции – от прогресса, ведущего к совершенству, до представлений о простых изменениях с течением времени, и эти представления сохраняют свое значение до сих пор, что будет ясно после прочтения этой главы. Однако отсутствие представлений об эволюции не мешало человечеству изучать многие связанные с нею факты, например порожденное эволюцией чудесное разнообразие жизненных форм.

Перед лицом этого разнообразия наш мозг автоматически создает категории, куда втискивает самые буйные его формы. Так же как письменные принадлежности распадаются на категории «ручки» и «карандаши», а колесные транспортные средства распределяют по категориям «легковые машины», «грузовики» и «велосипеды», так и видимые невооруженным глазом живые существа уже во времена Аристотеля (около 2300 лет назад) были разнесены на две категории: «растения» и «животные». Однако Аристотель пошел еще дальше и предположил существование «Великой цепи бытия» – *scala naturae*, лестницы природы, – согласно которой все природные вещи упорядочены на ступенях иерархической лестницы категорий в нисходящем порядке, от первичного двигателя на вершине лестницы до минералов в ее подножии. В середине лестницы располагаются животные, упорядоченные «по степени совершенства их душ»<sup>1</sup>. На этой лестнице природы, которую ученые принимали за истину в течение многих столетий, человек занимал второе после Бога положение.

До признания концепции эволюции как понятия об изменчивости с течением времени эту иерархию считали фиксированной: жизненные формы всех имеющихся категорий всегда были, есть и будут неизменными – и натуралисты ограничивали свое мышление и результаты наблюдений многообразия жизненных форм категориями неизменной лестницы природы. Однако в восемнадцатом и девятнадцатом веках обнаружение все большего числа ископаемых останков живых существ в геологических слоях разных эпох с неизбежностью привело к появлению новой концепции о полной изменчивости внешнего вида и строения живых существ с течением времени. В 1859 году Чарльз Дарвин в строгих понятиях выразил суть эволюции для последующих поколений. В свете эволюции лестница природы получила временную ось и в глазах последователей Дарвина превратилась в лестницу эволюции, по которой организмы постепенно восходят наверх по мере своего развития, идя от простого к сложному. Теперь лестницу представляли себе не как нечто фиксированное, а как телескопическую лестницу, которая со временем растет в высоту (рис. 1.1), по направлению к человеку. Такой взгляд вполне соответствовал тому факту, что в ископаемых останках человек появился позднее всех других живых существ.

---

<sup>1</sup> Bunnin and Yu, 2008, p. 289.



**Рис. 1.1.** Упрощенная версия лестницы природы для позвоночных (слева) и та же шкала, ориентированная вдоль оси эволюционного времени, то есть с учетом того, что жизнь развивалась во времени (на рисунке отрезки времени не указаны). Слияние линий (справа) указывает, что современные птицы и млекопитающие (помещенные сверху) имеют общего предка, а их общий предок имел общего предка с современными пресмыкающимися, а их общий предок имел общего предка с современными земноводными, и так далее, до появления на планете первых жизненных форм. Это «генеалогическое древо» позвоночных не соответствует действительности; см. рис. 1.4

Так рассуждал немецкий невролог Людвиг Эдингер, которого многие считают отцом сравнительной нейроанатомии. В конце девятнадцатого века Эдингер рассматривал эволюцию головного мозга (в соответствии с концепцией Дарвина) как прогрессирующую и нелинейную (в соответствии с телескопической версией аристотелевской лестницы, которая разворачивается с течением времени эволюции): от рыб к амфибиям, потом к рептилиям, птицам и млекопитающим – кульминацией этого развития стал человеческий головной мозг, естественно, в восхождении от «низшего» к «высшему» интеллекту, согласно предполагаемой последовательности, в которой на Земле появлялись разные группы позвоночных животных. В процессе восхождения по лестнице, рассуждал Эдингер, мозги существующих позвоночных сохраняли структуры мозга предшественников. Следовательно, ввиду прогрессивной эволюции сравнение анатомии мозга существующих видов должно выявить происхождение более поздних структур от старых структур предшествующих видов. Предполагаемое свидетельство «прошлых жизней», запечатленное в структурах современного мозга, находит свое отражение в законе рекапитуляции, сформулированном в 1866 году немецким эмбриологом Эрнстом Геккелем в афоризме: «Онтогенез повторяет филогенез» (то есть индивидуальное развитие отдельного организма повторяет ход эволюции). Геккель утверждал, что развитие недавних («передовых») видов последовательно проходит стадии, представленные во взрослых организмах более старых («примитивных») видов. Эдингер распространил на взрослый мозг различных биологических видов то, что Геккель, как он считал, наблюдал у их эмбрионов.

Так и получилось, что в начале двадцатого века, в соответствии с идеями прогрессивной эволюции от рыб к земноводным, от земноводных к пресмыкающимся, а далее к птицам и млекопитающим и, в частности, к человеку и при учете постепенного увеличения сложности и размеров, Эдингер предположил, что каждая новая группа позвоночных в ходе эволюции приобретает более совершенные отделы мозга, которые, подобно геологическим породам, наслаивались на предыдущие, более старые отделы головного мозга (рис. 1.2). Слоистое расположение этих отделов отражало основное деление человеческой центральной нервной системы (спинной мозг, продолговатый мозг, мост, мозжечок, промежуточный мозг, средний мозг и конечный мозг), такие отделы можно обнаружить у всех позвоночных животных. Соответственно,

конечный мозг – верхний слой, а, следовательно, самый молодой – является тем отделом, который сильнее всего отличается своими размерами от соответствующего слоя других биологических видов и характерен именно для человеческого мозга, где его масса составляет 85 % массы всего головного мозга (рис. 1.3).

В 1908 году Эдингер предположил, что выдающаяся роль конечного мозга у млекопитающих, в особенности у человека, служит признаком эволюционного статуса человека как «высшего» среди животных. Эдингер считал, что и сам конечный мозг развивался постепенно за счет добавления слоев: предковая часть конечного мозга (полосатое тело) контролирует инстинктивное поведение; за полосатым телом последовало добавление нового участка (слоя) плаща или коры, которая контролирует обучение и разумное поведение, – и эта часть наиболее развита у людей<sup>2</sup>. По ходу эволюции первичный конечный мозг рыб обладал маленькой корой и относительно большим полосатым телом, к которому у пресмыкающихся добавились новые слои. У птиц развилось гипертрофированное полосатое тело, но кора осталась практически такой же; напротив, у млекопитающих произошло самое главное и выдающееся усовершенствование: на древней коре, палеокортексе, вырастает новая кора, неокортекс. Этот взгляд стал господствующим в неврологической науке, что было отражено в учебнике сравнительной нейроанатомии, опубликованном в 1936 году<sup>3</sup>.



**Рис. 1.2.** По мнению Эдингера, как млекопитающие в своем прогрессивном развитии проходят стадию птиц, а птицы в своем развитии проходят стадию пресмыкающихся, так и мозг в своем развитии в каждой группе позвоночных приобретает новые структуры поверх тех, которые были присущи и более старым видам (слева). Результирующая слоистость структуры напоминает о последовательности структур, из которых состоят головной и спинной мозг позвоночных (справа), сверху (конечный мозг) донизу (спинной мозг)

Идея (ошибочная) о том, что новая кора была недавним приобретением млекопитающих, новым слоем, уложенным поверх старых структур, стала настолько популярной, что дошла до двадцать первого века, в ее основе был предложенный нейроанатомом Полом Мак-Лином принцип «триединого мозга», состоящего из комплекса пресмыкающегося (от продолговатого мозга до базальных ганглиев), к которому (комплексу) добавился комплекс «древних млекопитающих» (лимбическая система), а позже «комплекс новых млекопитающих» – неокортекс<sup>4</sup>. Интуитивное (но неверное) уравнивание эволюции с прогрессом, вкупе с соблазнительной идеей о примитивном мозге пресмыкающихся, который, как полагали, неспособен к

<sup>2</sup> Edinger, 1908.

<sup>3</sup> Kappers, Huber, and Crosby, 1936.

<sup>4</sup> MacLean, 1964.

таким сложным действиям, как новый мозг млекопитающих, привлекло внимание СМИ, когда было отчетливо сформулировано в 1977 году Карлом Саганом в популярной книге «Драконы Эдема»<sup>5</sup>.

## КОНЕЧНЫЙ МОЗГ



**Рис. 1.3.** Несмотря на то что человеческий мозг имеет те же отделы, что и мозг всех позвоночных животных, конечный мозг человека (кора мозга + полосатое тело) в несколько раз превышает размерами все остальные, взятые вместе, структуры головного мозга

Однако триединый мозг – всего лишь фантазия. По мере того как обнаруживалось все больше и больше ископаемых останков динозавров, часть из которых оказались пернатыми, стало ясно, что современные ящерицы, крокодилы и птицы являются близкими кузенами, и теперь все они считаются рептилиями (пресмыкающимися), включая и птиц, в то время как современные млекопитающие отделились от них на очень ранней стадии, от сестринской группы в самом начале амниотической жизни<sup>6</sup> (рис. 1.4). Таким образом, млекопитающие никогда не были пресмыкающимися или птицами в далекое по эволюционным меркам время; мозг млекопитающих по меньшей мере так же древен, как мозг птиц и других рептилий, если не старше, просто он развивался по иному эволюционному пути. В самом деле, современные нейроанатомические исследования показали, что «полосатое тело» птиц<sup>7</sup> имеет ту же организацию и функцию, что и кора мозга млекопитающих, – это просто два различных варианта одной структуры, которая работает весьма схожим образом<sup>8</sup>. Так, если млекопитающие не произошли от пресмыкающихся, то они не могут иметь мозг, построенный путем добавления слоев поверх мозга рептилий. Сравнивать мозг млекопитающих и пресмыкающихся и допускать, что один из них получился в результате наложения новых структур поверх структур другого, столь же абсурдно, как, глядя на двух двоюродных братьев, предполагать, что один из них является потомком другого. Тем не менее идея о предковом «мозге пресмыкающегося» оказалась весьма живучей, и многие ученые-неврологи, не имеющие подготовки в области эволюционной био-

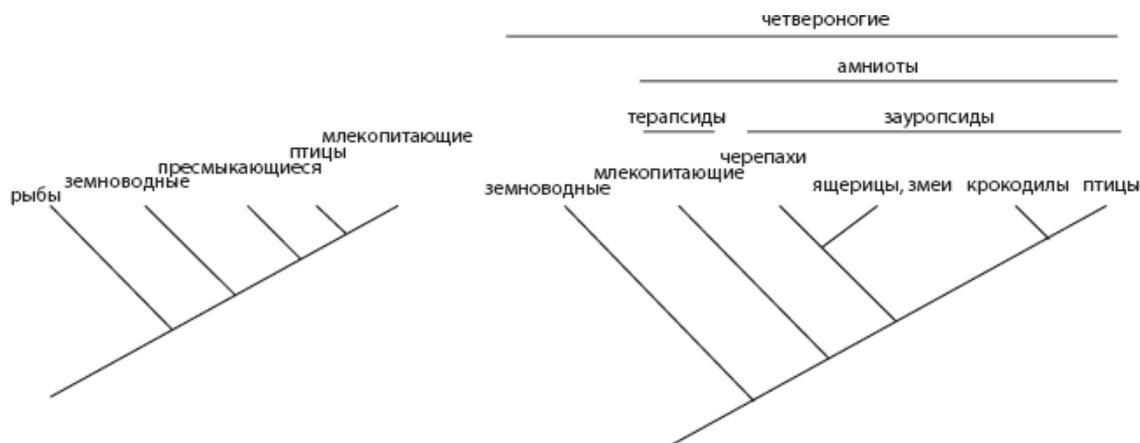
<sup>5</sup> Sagan, 1977.

<sup>6</sup> Carroll, 1988; Evans, 2000.

<sup>7</sup> Для того чтобы избежать путаницы с истинным полосатым телом или базальными ганглиями, птичье «полосатое тело» какое-то время называли дорсальным желудочковым гребнем, а теперь называют «паллиумом» (плащом), функция которого сходна по функции с некоторыми частями мозговой коры млекопитающих.

<sup>8</sup> Shanahan et al., 2013.

логии, до недавнего времени сравнивали мозг рептилий и млекопитающих так, словно заглядывали при этом в эволюционное прошлое.



**Рис. 1.4.** Современная трактовка основанных на фактических данных эволюционных отношений между четвероногими позвоночными (справа), противопоставленная прежним взглядам, базирующимся на вытягивании лестницы природы вдоль оси эволюционного времени (слева). Млекопитающие (современные терапсиды) и пресмыкающиеся (современные зауропсиды, к которым относят и птиц) являются сестринскими группами. Следовательно, млекопитающие просто не могли произойти от рептилий

Лестница эволюционного восхождения мозга, созданная Эдингером, не выдерживает проверки перед лицом фактов эволюции: виды не всегда «прогрессивно» развиваются в более сложные жизненные формы по мере развития<sup>9</sup>. Определенно, что большинство сложно устроенных существ, обнаруживаемых в то или иное время эволюции, становились все более сложными по мере своего развития, но, несмотря на это, в биомассе Земли преобладают намного более простые одноклеточные жизненные формы, а кроме того, есть масса примеров того, как многие организмы в ходе эволюции становились мельче и проще, как, например, летучие мыши или внутриклеточные паразиты. Эволюция – это не прогресс, это просто изменения с течением времени.

Идея о том, что эволюция повторяет этапы развития ранних видов, создавая при этом новые путем добавления следующих уровней к прежним программам развития, служила опорой взглядов Эдингера – была отброшена доказательствами, полученными в эмбриологических исследованиях двадцатого века<sup>10</sup>. Современная эволюционная биология развития понимает, что разница между взрослыми особями животных видов проистекает из эволюционных изменений их собственных программ развития, то есть филогенез осуществляется в результате изменений в онтогенезе, в результате процесса, противоположного по направленности процессу, постулированному Геккелем. Когда изменяется программа развития, возникает новая жизненная форма, ничуть не более или менее «передовая», она просто другая.

Тем не менее, создав «эволюционную» версию лестницы природы, Эдингер заложил основу номенклатуры, которая в течение целого столетия использовалась для определения и описания отделов мозга всех позвоночных животных, а усилиями МакЛина его популярная триединая модель головного мозга продолжает до сегодняшнего дня влиять на концепции развития головного мозга. Что еще более важно, Эдингер основал школу мышления, согласно которому эволюция мозга является синонимом прогресса, и оно, это мышление, стало фоном

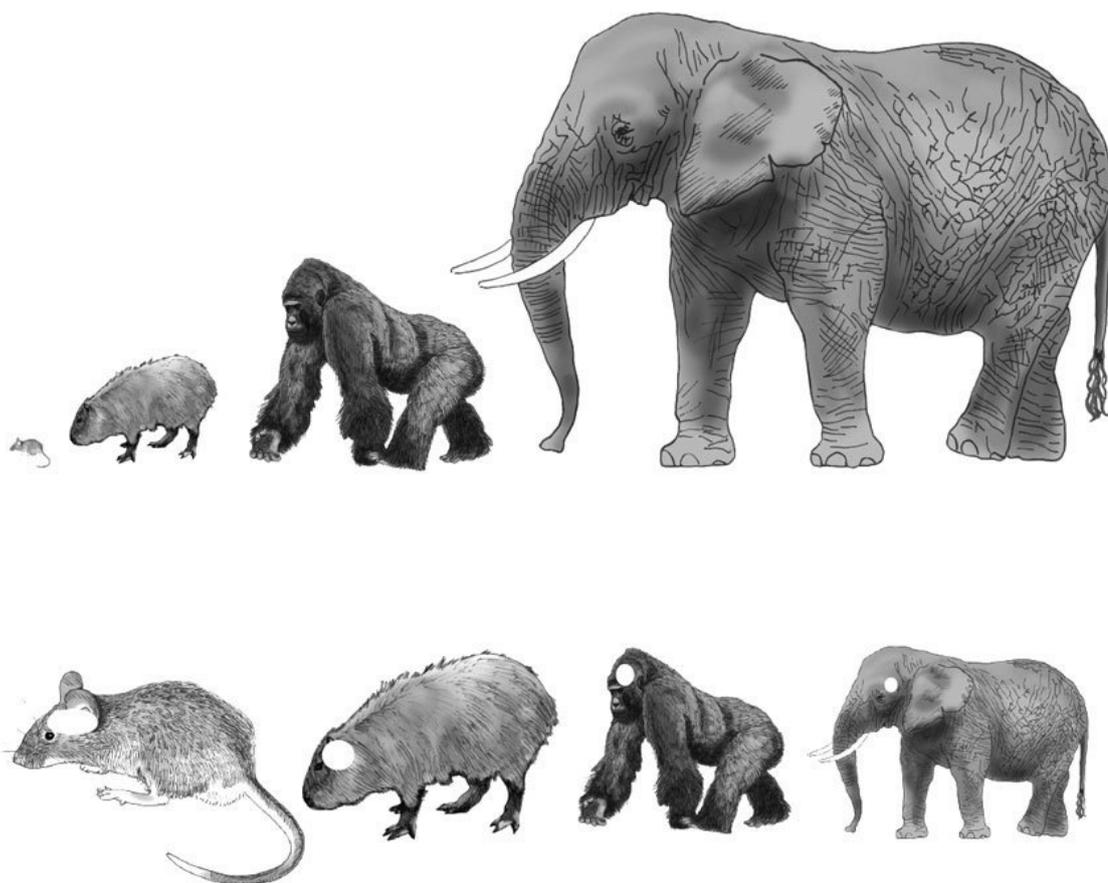
<sup>9</sup> Jenner, 2004.

<sup>10</sup> Reviewed in Gould, 1977.

одного из самых распространенных убеждений – относительно того, что дает человеку когнитивное преимущество перед остальными животными: идея о том, что человеческий мозг – или мозговая кора, или префронтальная кора, или количество времени, которое потребовалось для возникновения зрелой формы человеческого мозга, или количество энергии, потребляемое мозгом, – больше, чем он должен быть.

## Человеческий мозг, который больше, чем он должен быть

Чем больше животное – будь то позвоночное или беспозвоночное, – тем большим мозгом оно обладает. Это соотношение было осознано и сформулировано очень давно – в 1762 году, когда швейцарский натуралист Альбрехт фон Галлер предложил правило, названное затем «правилом Галлера»: более крупные животные обладают более крупным мозгом, но чем больше мозг, тем меньше его масса относительно массы тела<sup>11</sup> (рис. 1.5).



**Рис. 1.5.** Более крупные животные, как правило, обладают и более крупным головным мозгом: мозг крысы (масса 2 г) намного меньше мозга капибары (масса 75 г), который меньше мозга гориллы (масса около 500 г), а мозг гориллы намного меньше головного мозга слона (масса около 4000–5000 г). Однако относительный размер мозга, то есть доля от массы тела животного, меньше у крупных животных, что становится наглядным, если изменить масштаб изображения, сделав всех животных одной величины (нижний ряд)

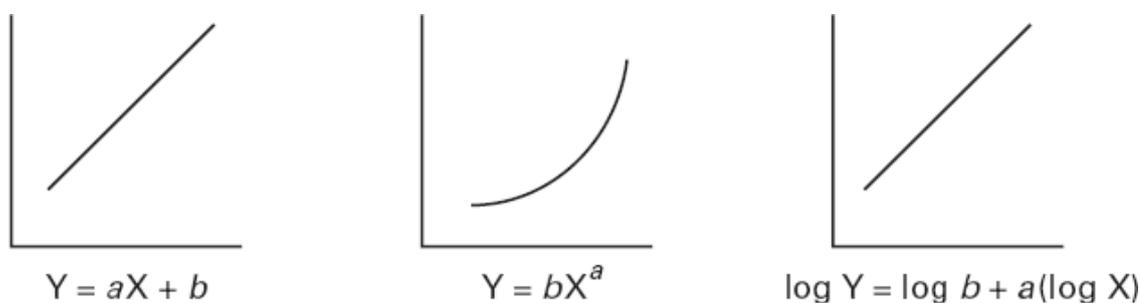
Относительно более малый мозг более крупных животных – это пример аллометрического роста или просто «аллометрии» в противоположность изометрическому росту, который бы имел место в случае, если бы у более крупных животных был пропорционально больший мозг при неизменном отношении массы мозга к массе тела. Интерес к аллометрии, учению о том, как изменяются форма тела и пропорции его частей в зависимости от размеров тела животного, можно духовно проследить до Галилео Галилея, то есть до семнадцатого века. Галилей понял, что тела более крупных животных (и их кости в особенности) не могут быть

<sup>11</sup> von Haller, 1762; Cuvier, 1801.

пропорционально (изометрически) увеличенными версиями тел более мелких животных, так как в этом случае они бы просто рухнули под своей тяжестью. Мы интуитивно понимаем это, глядя на слонов Сальвадора Дали с их ножками-спичками.

Однако сам термин «аллометрия» был введен в науку немецким врачом Отто Снеллем<sup>12</sup>, а позже принят на вооружение Джулианом Хаксли, британским биологом, который дал математическое описание зависимости между размерами тела и его формой, которая была великолепно проиллюстрирована чудесными рисунками Д'Арси Уэнтурта Томпсона в вышедшей в 1917 году книге «О росте и форме». Согласно наблюдениям Хаксли, аллометрические соотношения принимают форму степенной функции, когда один параметр изменяется пропорционально второму параметру, возведенному в определенную степень, а не умноженному на некоторую константу, как это имеет место при линейной зависимости (рис. 1.6). То, что масса частей тела всегда соотносится с массой тела по степенному закону в форме  $Y = bX^a$ , сегодня понимают все: только степенная функция определяет *масштабно-инвариантное* отношение между  $X$  (например, массой тела) и  $Y$  (массой части тела, например головного мозга). В случае млекопитающих масштабный инвариант описывает, как тела млекопитающих варьируют по массе в пределах восьми порядков величин (то есть при разнице до 100 миллионов раз) при сохранении общего плана строения.

На практике это означает, что млекопитающее животное всегда можно идентифицировать независимо от его размера. Этот факт подразумевает, что должны быть общие количественные биологические правила, или законы масштабных инвариантов, выражающие соотношения различных частей тела, которые остаются верными в широком диапазоне размеров головного мозга, – приложение же этих законов в природе, находящее отражение в строении тела животных, подтверждается аллометрическими соотношениями, описанными Хаксли.

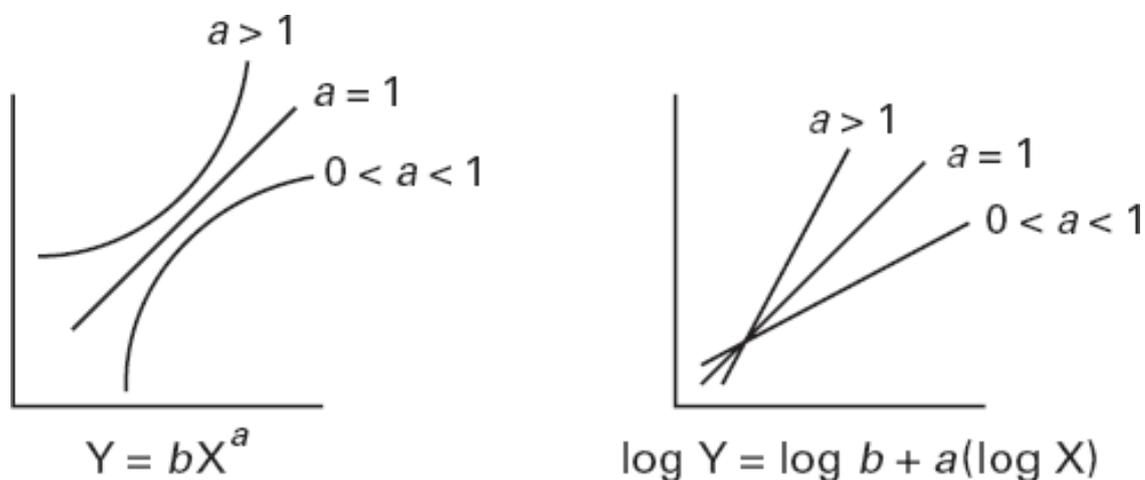


**Рис. 1.6.** Линейная функция, представленная в виде графика на линейной шкале (слева), степенная функция (где аллометрический показатель степени  $a > 1$ ), представленная в виде графика на линейной шкале (в центре), и отношение между логарифмами величин, представленное графиком на линейной шкале (справа). Логарифмическое преобразование превращает степенную зависимость в линейную, что сильно облегчало вычисления до появления цифровых компьютеров. В аллометрических функциях  $X$  – это масса тела, а  $Y$ , как правило, масса, объем или площадь поверхности части тела

Аллометрия какой-либо части тела, например головного мозга, объясняет, как изменяется эта часть (варьирует в размерах в отношении площади поверхности, массы или объема) по мере изменения массы всего тела, и может быть описана аллометрическим показателем степени в отношении к массе тела. Как следует из рис. 1.7, аллометрический показатель степени 1,0 превращает степенную зависимость в линейную функцию, а следовательно, означает, что данная часть тела изменяется изометрически (то есть прямо пропорционально) в отношении изменения массы всего тела, как это имеет место с объемом циркулирующей крови, который

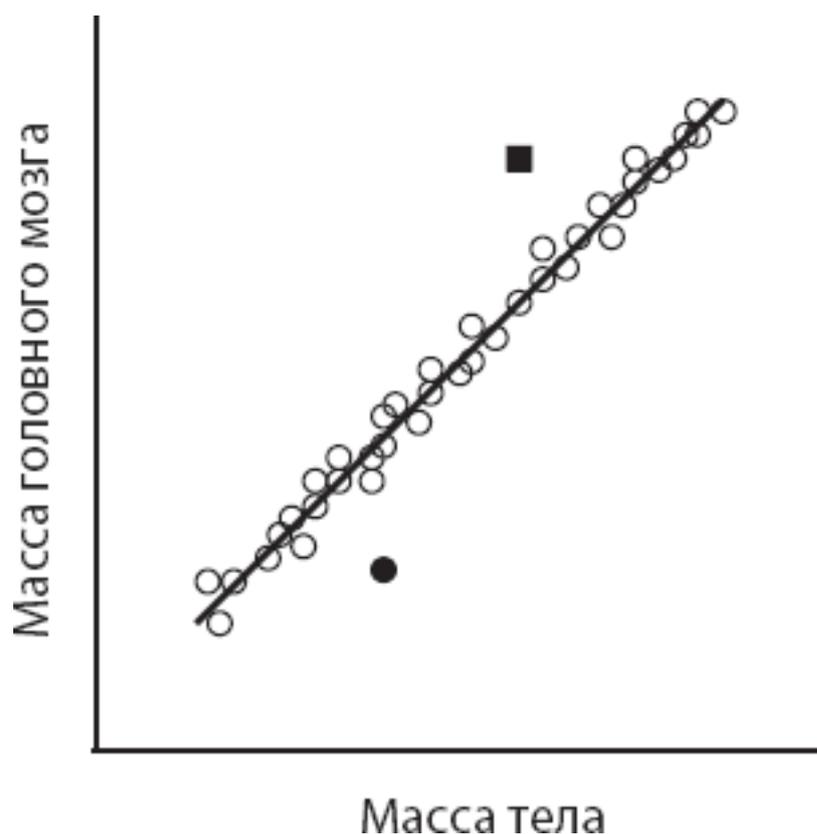
<sup>12</sup> Snell, 1891.

всегда составляет фиксированную долю от объема всего тела. Показатель степени, больший единицы, говорит, что часть тела растет быстрее, чем все тело; это касается костей, как было предсказано Галилеем. Аллометрические показатели, меньшие единицы, свидетельствуют, что данная часть тела растет вместе с телом, но медленнее, и относительная доля массы части тела в сравнении с общей массой тела уменьшается по мере увеличения массы животного. Так происходит в случае головного мозга.



**Рис. 1.7.** Степенные зависимости, представленные непосредственно в линейном масштабе (слева), и изображенные в логарифмической форме величины  $X$  и  $Y$  в линейной системе координат (справа), зависящие от величины аллометрического показателя степени  $a$ . Если  $a > 1$ , то  $Y$  растет быстрее, чем  $X$  (масса тела), как в случае массы костей; если  $a = 1$ , то  $Y$  растет прямо пропорционально  $X$ , как в случае объема циркулирующей крови; если же  $0 < a < 1$ , то  $Y$  растет вместе с  $X$ , но медленнее, как в случае головного мозга

Открытие в 1937 году американским невропатологом Герхардтом фон Бонином того факта, что соотношение между массой тела и массой головного мозга у многих биологических видов может быть описано степенной зависимостью с данным аллометрическим показателем степени, позволило создать новую концепцию – концепцию увеличения головного мозга относительно ожидаемого размера тела данной массы. Основанием для этого стало то, что существование аллометрического соотношения для массы головного мозга, определяемого степенной зависимостью, описывающей, насколько велик головной мозг млекопитающего определенной массы, позволяет предсказать размер мозга, которым должно обладать какое-либо млекопитающее животное при данной массе своего тела. Это предсказание можно затем сравнить с действительной массой мозга каждого из видов (рис. 1.8).



**Рис. 1.8.** Представленный график изображает аллометрическую функцию массы головного мозга =  $bх$  (масса тела)<sup>13</sup>, рассчитанной для данных, указанных точками в координатной плоскости, где каждая точка обозначает какой-либо биологический вид. Линия указывает предсказанную массу головного мозга при данной массе тела животного; знание массы тела позволяет предсказать, просто применив формулу, насколько большим должен быть головной мозг данного животного. Иногда, однако, какой-либо вид (сплошной кружок) обладает намного меньшим мозгом, а другой (черный квадрат) – намного большим, чем ему «положено», мозгом. Конечно, вопрос о том, обладает ли животное какого-либо вида большим или меньшим мозгом, чем следует из формулы, – это совсем другая история

Такие сравнения между тем, какой должна быть масса головного мозга у какого-либо животного и какой она была на самом деле, были проведены в 1969 году Гейнцем Штефаном и Орландо Энди, работавшими в бывшем институте Людвиг Эдингера в немецком Франкфурте. Штефан и Энди полагали (ошибочно, но это выяснилось лишь сорок лет спустя), что приматы и большая часть (если не все 100 %) млекопитающих ведут свое происхождение от таких насекомоядных животных, как кроты и землеройки – ныне живущие существа, которых авторы, по традиции тогдашней науки, считали – благодаря их малым размерам – похожими на предковые формы млекопитающих, населявших некогда нашу планету. В добрых эдингеровских традициях, Штефан и Энди рассчитали то, что они назвали «индексами прогрессии», – меру того, насколько сильно современные виды отделились от «примитивного» состояния предкового мозга, который предположительно был похож на мозг современных насекомоядных животных. Сначала ученые рассчитали объем головного мозга, которого следовало ожидать у «примитивного» животного, исходя из аллометрического соотношения между объемом мозга (или объе-

<sup>13</sup> Масса (в граммах) и объем (в кубических сантиметрах) являются величинами, в принципе взаимозаменяемыми, для оценки трехмерных объектов. Эти величины пропорциональны друг другу с коэффициентом 1,036, учитывая, что тело любого животного состоит преимущественно из воды.

мом тех или иных структур мозга) и массой тела, характерной для исходных насекомоядных видов, то есть животных, наиболее близких к предкам млекопитающих. Далее они вычислили индексы прогрессии: «во сколько раз больше некая мозговая структура определенного вида в сравнении с тем, какой она должна быть у исходного насекомоядного схожей массы тела»<sup>14</sup>. Чем больше была мозговая структура в сравнении с тем, какой она должна быть у исходного насекомоядного, тем более «прогрессивным» является данное животное.

Как мог бы предсказать и сам Эдингер, Штефан и Энди выяснили, что у приматов в наибольшей степени прогрессировала новая кора мозга; по мере восхождения приматов по эволюционной лестнице регрессировала только одна структура – обонятельная луковица; она оказалась меньше предсказанной для тела такой массы, и масса обонятельной луковицы осталась на примитивном уровне. Прогрессия оказалась выше, а на самом деле просто высочайшей, в новой коре мозга человека; показатели для нее в наибольшей степени отклонялись от предсказанной величины. Естественно, на этом основании Штефан и Энди дисциплинированно заключили, что размер неокортекса «представляет собой наилучший из ныне доступных критериев развития головного мозга, пригодных для классификации данного вида на шкале смены эволюционных стадий». Данные этих ученых, казалось, подтвердили правоту Эдингера: «прогрессивная эволюция» действительно заключается в увеличении неокортекса в сравнении с другими мозговыми структурами, и это увеличение «достигает кульминации у млекопитающих, особенно у приматов»<sup>15</sup>, а максимума достигает у человека. Вывод был однозначным: люди обладают очень большим неокортексом в сравнении с размером, который должен быть у «примитивных» млекопитающих.

---

<sup>14</sup> Stephan and Andy, 1969.

<sup>15</sup> Stephan and Andy, 1969.

## Коэффициент энцефализации

Концепция «индекса прогрессии» тем не менее вошла в историю науки, правда, под другим именем: под названием «коэффициента энцефализации» эта концепция появилась в вышедшей в 1973 году весьма конструктивной книге американского палеонтолога Гарри Джерисона «Эволюция головного мозга и интеллекта».

Джерисон заинтересовался аллометрией в том виде, в каком она была описана Хаксли в его книге «Проблемы относительного роста»<sup>16</sup>, и приложил эту концепцию к вопросу о том, как меняется объем головного мозга по мере увеличения массы тела. Джерисон опирался на опубликованную в 1897 году работу голландского палеоантрополога Эжена Дюбуа (открыватель *Homo erectus*) об «индексах цефализации», отношениях между массами головного мозга и тела, которые были, в свою очередь, предложены Отто Снеллем в 1891 году на основании анализа отношения масс мозга и тела у разных видов млекопитающих. В то время, когда Штефан и Энди вычисляли аллометрические отношения для первых насекомоядных и распространяли данные на мозг приматов, Джерисон вместо этого стал рассчитывать аллометрические отношения для массы мозга и тела для того, чтобы предсказывать размер мозга в широком спектре млекопитающих из смешанной выборки<sup>17</sup>.

Предсказанную массу головного мозга можно было после этого сравнить с *действительной* массой мозга каждого вида, как это показано на рис. 1.8. По мнению Джерисона, растущие тела требовали одновременно и увеличения массы мозга, который должен быть способен обрабатывать всю сенсорную информацию и контролировать движения тела большой массы. Следовательно, если масса головного мозга какого-либо вида больше, чем ожидалось для имеющей место массы тела (учитывая соотношение, приложимое к другим видам), то данный вид имеет избыточную массу головного мозга, свыше того, что строго необходимо для управления телом. Пользуясь термином Джерисона, можно сказать, что этот вид «энцефализован», то есть обладает большим интеллектом.

Разделив действительную массу головного мозга большинства различных видов млекопитающих на предсказанную массу мозга для тех же видов, Джерисон получил безразмерную величину для каждого вида – коэффициент энцефализации, который показывал, насколько мозг особей данного вида больше по отношению к своей «должной» величине. По Джерисону, коэффициент должен был служить индикатором интеллекта в ходе человеческой эволюции (он рассчитывал коэффициент энцефализации вымерших предков человека по объемам полостей ископаемых черепов), а также таковым индикатором для приматов и других животных. Согласно расчетам Джерисона, коэффициент энцефализации современного человека равен 7,5, что означает, что объем человеческого мозга приблизительно в семь с половиной раз больше объема головного мозга, необходимого млекопитающему с нашей массой тела согласно выполненным расчетам<sup>18</sup>. На втором месте, с большим интервалом, находятся разнообразные приматы с жалким коэффициентом энцефализации, равным в среднем двум. Человеческая эволюция, предположил Джерисон вслед за Эдингером с его концепцией прогрессивной эволюции, заключалась в повышении коэффициента энцефализации, достигшего кульминации у человека. Вопрос был исчерпан. То, что делало нас людьми, что отличало человеческий мозг от мозга других видов и объясняло наши замечательные и непревзойденные когнитивные способности, пусть даже наш мозг не был самым большим на планете (у слонов и некоторых китов мозг больше), заключалось в том факте, что наш мозг значительно больше

---

<sup>16</sup> Huxley, 1932.

<sup>17</sup> Jerison, 1955.

<sup>18</sup> Jerison, 1973.

того мозга, которым мы должны были бы располагать, судя по массе нашего тела. Мы были исключением из правила, согласно которому у крупных животных мозг больше. Мы, на самом деле, оказались особенными.

## Проблема энцефализации

В течение следующих десятилетий коэффициент энцефализации стал общепринятым стандартом для сравнения видов при том допущении, что он служил лучшим средством оценки когнитивных способностей, нежели абсолютный размер мозга<sup>19</sup>. Ретроспективно, однако, можно сказать, что со временем накапливались данные, заставлявшие критически отнестись к этому простому объяснению: «больше, чем должен быть». Понятно и не требует пояснений, что любой «избыток массы мозга» должен быть доступен для функций, отличных от базовых потребностей организма: для мышления, распознавания образов, планирования будущего. Но аллометрические соотношения вычисляются по приложению уравнения к точечным данным, и при этом одни точки оказываются выше, а другие ниже кривой, как это показано на рис. 1.8. Следовательно, если существуют виды энцефализованные (те, данные которых оказываются выше кривой, то есть с мозгом, большим ожидаемого объема), то чисто математически необходимо, чтобы существовали виды, данные которых находятся ниже кривой, то есть виды недостаточно энцефализованные, у которых масса мозга меньше, чем должна быть для успешного управления функциями организма, – это весьма маловероятное предположение, так как такие виды есть и они очень хорошо себя чувствуют.

Еще более проблематичным оказалось то, что универсальное допущение, будто коэффициент энцефализации выражает меру интеллекта или любое количественное подтверждение когнитивных способностей (поскольку коэффициент наибольший у человека, постольку он должен иметь непосредственное отношение к интеллекту), не выдерживает практической проверки при опытным измерении когнитивных способностей. Более того, отсутствовала прямая корреляция между коэффициентом энцефализации и умственными способностями. Вторыми за человеком по величине коэффициента энцефализации следуют маленькие обезьянки – капуцины, у которых коэффициент энцефализации равен двум, и следовало бы ожидать, что своими умственными способностями эти обезьянки превосходят высших человекообразных обезьян<sup>20</sup>, ничтожный коэффициент энцефализации которых (меньше единицы) теоретически должен поставить их в один ряд с существами, у которых мозга не должно хватать на базовые функции организма. Тем не менее высшие обезьяны – и это неоспоримый факт – отличаются намного более сложным и гибким поведением, чем капуцины и другие мелкие и более энцефализованные обезьяны, например мармозетки<sup>21</sup>. Коэффициент энцефализации Джерисона хорошо работал в отношении человека, поставив его вне других видов, но пришлось разбираться с путаницей, которую этот коэффициент породил среди других видов животных.

Помимо этого, концепция энцефализации предполагала, что все мозги устроены практически одинаково: определенное количество мозговой ткани содержит одинаковое число нейронов у разных видов животных. Но «избыточная масса мозга» при коэффициенте, скажем, равном двум, выражается большей абсолютной массой мозга, а следовательно, большим числом «избыточных нейронов» в большом мозге, нежели в малом. На практике это означало, что одинаковые показатели коэффициента энцефализации приводят к лучшим когнитивным способностям крупного мозга по сравнению с мелким мозгом. Однако выяснить это было бы тяжело, потому что, во-первых, трудно сравнивать когнитивные способности видов, отличных от человека, а во-вторых, потому что никто в то время не знал, сколько нейронов содержится в мозгах разных биологических видов. Но имело ли все это какое-нибудь значение? Критиковать

---

<sup>19</sup> Marino, 1998; Sol et al., 2005.

<sup>20</sup> Marino, 1998.

<sup>21</sup> Deaner et al., 2007.

энцефализацию было чем-то сродни мелочному спору; если человеческий вид энцефализован в наибольшей степени, то разве этого недостаточно?

Коэффициент энцефализации оставался самым используемым параметром сравнения видов в течение трех десятилетий, в надежде, что он и в самом деле отражает что-то вроде интеллекта. Это был единственный количественный показатель, который, в противоположность абсолютному или относительному размеру мозга, позволял выделить человека на фоне всех других видов<sup>22</sup>. Этим коэффициентом активно пользовался американский биолог Лори Марино, страстный защитник признания права китообразных на личность, обнаруживший, что коэффициент энцефализации у дельфинов равен 3, что меньше, чем у человека, но значительно больше, чем у всех остальных видов приматов<sup>23</sup>

---

<sup>22</sup> Marino, 1998; Herculano-Houzel, 2011.

<sup>23</sup> Marino, 1998.

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.