

**ЭЛИС
РОБЕРТС**

**НЕВЕРОЯТНАЯ
СЛУЧАЙНОСТЬ
БЫТИЯ**

**ЭВОЛЮЦИЯ
И РОЖДЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА**

ОТ МОЗГА ДО КОНЧИКОВ ПАЛЬЦЕВ: ПРОЧИТАВ ЭТУ КНИГУ,
ВЫ БУДЕТЕ НАМНОГО ЛУЧШЕ ПОНИМАТЬ СОБСТВЕННУЮ ПРИРОДУ.

Ричард Докинз, автор бестселлера «Бог как иллюзия»

Элис Робертс

**Невероятная случайность бытия.
Эволюция и рождение человека**

«Азбука-Аттикус»

2014

УДК 572.1/.4+573+575.87
ББК 28.02+28.71

Робертс Э.

Невероятная случайность бытия. Эволюция и рождение человека /
Э. Робертс — «Азбука-Аттикус», 2014

ISBN 978-5-389-15539-8

Известный британский ученый и популяризатор науки Элис Робертс рассматривает портрет современного человека под разными углами зрения: сквозь призму эмбриологии, генетики, анатомии, эволюции и зоологии. Блестяще сочетая знания врача, анатома, остеoarхеолога и талант рассказчика, автор разворачивает перед нами удивительный путь, который проходит человек в своем развитии от одной-единственной клетки до мыслящего и чувствующего существа. «История возникновения и развития человеческого организма – самый увлекательный рассказ из всех, что может предложить нашему вниманию наука. Чем глубже я погружаюсь в изучение структуры и функций человеческого тела, тем лучше понимаю, каким невообразимым, небрежно смешанным коктейлем из разных частей и кусочков оно является; многие его недостатки можно понять только в эволюционном контексте».
(Элис Робертс)

УДК 572.1/.4+573+575.87
ББК 28.02+28.71

ISBN 978-5-389-15539-8

© Робертс Э., 2014
© Азбука-Аттикус, 2014

Содержание

Начала	6
Краткая история идей	9
Начало	13
Напоминание о прошлом	20
Голова и мозг	25
Первая голова	25
Древний и эмбриональный мозг	36
Картирование человеческого мозга	46
Зеркальные нейроны	53
Этот огромный человеческий мозг	57
Череп и ощущения	61
Нервный гребень и происхождение черепа	61
Появление черепа	67
Формы черепа	70
Слух	76
Конец ознакомительного фрагмента.	77

Элис Робертс

Невероятная случайность бытия. Эволюция и рождение человека

Памяти Пума Стивенса

Alice Roberts

THE INCREDIBLE UNLIKELINESS OF BEING

Evolution and the Making of Us

Иллюстрации Элис Робертс

Перевод с английского Александра Анваера

© Alice Roberts, текст, иллюстрации, 2014

© Анваер А. Н., перевод на русский язык, 2018

© Издание на русском языке. ООО «Издательская Группа «Азбука-Аттикус», 2018

КоЛибри®

* * *

Эта научно обоснованная история, собранная и составленная из многих источников, более необычна, более интересна, более захватывающая и красива, нежели любой выдуманный нами миф о Сотворении мира.

Элис Робертс

Мастерский рассказ о том, почему наши организмы являются такими, какими мы их видим сегодня. Робертс умело и со знанием дела сплетает воедино эмбриологию, генетику, анатомию, эволюцию и зоологию, чтобы рассказать невероятную историю человеческого тела. В разделах, посвященных сравнительной анатомии, книга просто блистательна... Этот добротный научный труд, основанный на современных исследованиях и исторических фактах, читается на удивление легко. Суперувлекательное чтение!

Observer

Книга излучает необыкновенную энергию, после ее прочтения остается впечатление, что вы получили интеллектуальный массаж каждой своей мышцы и с особой остротой, совершенно по-иному воспринимаете собственное тело, словно стали другим человеком.

Марк Медовник, профессор, ученый-материаловед

В биологии есть неисследованная пока пропасть между ДНК и живыми организмами. Ответ, судя по всему, будет найден в эмбриологии, и книга Элис Робертс – шаг на этом пути. Шаг успешный, сделанный с остроумием и энтузиазмом.

Стив Джонс, генетик

Начала Тайна зачатия и история, записанная в наших организмах

Ex ovo omnia. (Все происходит из яйца) (лат.).
Уильям Гарвей (1651)

Мое мировоззрение и понимание своего места в мире разительно переменялись после того, как я стала матерью. Первого ребенка я родила в 2010 году, и сразу же меня охватило невероятное, почти мистическое ощущение нерасторжимой связи с моими предками и потомками. Я поняла, что я не просто индивид, нет, я – звено в цепи жизни. Для меня это было словно прикосновение к женским тайнам, ведь женщины играют исключительно важную роль в сохранении непрерывности этой цепи. Я родила дочь – так же, как моя мать родила меня, а сама была рождена своей матерью и так далее – углубляясь во тьму прошедших веков.

Если вы, мой читатель, мужчина, то, хотя вы не способны к деторождению, тем не менее вы можете передавать свою Y-хромосому в последовательности потомков по мужской линии. Конечно, это выглядит не столь эпическим, но надо признать, что в сравнении с чудом деторождения в мире меркнет вообще все остальное.

Как и другим будущим мамам XXI века, мне выпала фантастическая возможность увидеть каждого из моих детей до того, как они появились на свет. Очень хорошо помню ту головокружительную радость, какую я испытала, увидев на двенадцатой неделе беременности свою крошечную дочку, плававшую в пруду амниотической жидкости. Тогда я еще не знала и не могла знать, что это девочка. Это было чудесно – видеть своего будущего ребенка, но между картинкой на экране и ощущением беременности была огромная пропасть.

Я анатом, моя профессия предполагает знание строения человеческого тела и законов его развития, но сколько бы я ни знала о внутриутробном развитии эмбриона, это ничуть не уменьшало ощущения того, что в моем чреве происходит настоящее чудо. Оплодотворение невероятно само по себе, но еще больше поражает сама мысль о том, что оплодотворенная человеческая яйцеклетка – единственная клетка – преобразуется в нечто столь сложное, как целостный человеческий организм. К двенадцатой неделе, когда сделали ультразвуковое исследование, плод был уже в достаточной степени сформирован: у него уже были руки и ноги, пальцы на руках и ногах, кишечник и бьющееся сердце. Плод выглядел как миниатюрный младенец. Как мог он возникнуть из одной-единственной клетки, образовавшейся в момент оплодотворения?

* * *

Само ваше пребывание в этом мире, сам факт того, что вы сейчас читаете эти строки, – события до крайности маловероятные. Маловероятной случайностью была встреча ваших родителей. Могло быть множество моментов, когда их жизнь повернулась бы по-иному и они встретили бы на своем пути других людей. Однако даже после того, как они встретились и полюбили друг друга, чистой случайностью стало то обстоятельство, что именно одна, определенная яйцеклетка была оплодотворена именно одним, определенным сперматозоидом, в результате чего на свет появились именно вы. И от мысли о том, насколько маловероятны эти события, становится даже немного не по себе, но чудеса на этом не заканчиваются.

Процесс превращения единственной оплодотворенной клетки в целостный человеческий организм и в самом деле поражает воображение. Он представляется своего рода биологическим чудом. Правда, это чудо не требует от нас веры в сверхъестественное или божественное

вмешательство; это естественное, природное чудо, и за прошедшие несколько столетий ученые раскрыли многие тайны этого невероятного преобразования (хотя некоторые так и остаются неразгаданными). На первый взгляд, превращение одной-единственной яйцеклетки в полноценный человеческий организм кажется настолько невозможным, настолько маловероятным событием, что мы невольно вообразаем себе некую сверхъестественную направляющую руку, благодаря которой совершается чудесное превращение, но, разобравшись в процессе более детально, начинаем понимать, как молекулы, клетки и ткани сами выстраиваются во взаимодействующие органы нашего тела. Это фундаментальный процесс, объединяющий нас со всеми другими живыми существами нашей планеты.

Когда мы задумываемся о нашем начале, нам трудно поверить, что когда-то мы были одной-единственной клеткой, оплодотворенной яйцеклеткой, но, несмотря ни на что, мы знаем, что это правда. Это кажется невероятным, но само наше бытие служит доказательством того, что это все-таки произошло. Трудно также поверить, что мы исходим от предков, которые когда-то, очень давно, тоже были единственными клетками. Но если мы согласимся с неоспоримым фактом, что мы сами возникли из единственной клетки в процессе эмбрионального развития, то, возможно, нам будет легче поверить, что мы, как вид, возникли из куда более скромных одноклеточных организмов. Бросив взгляд на наших более близких предшественников (однако все же довольно древних), мы обнаружим среди них червей. Мы можем проследить нашу родословную, двигаясь по линии нашего непосредственного происхождения по обильно ветвящемуся древу жизни. Там мы найдем других наших предков – рыб, амфибий, рептилий, древних млекопитающих, древних приматов, человекообразных обезьян и нас самих. (Между прочим, мы тоже обезьяны, хотя и совершенно особенные.)

Я написала эту книгу не только для того, чтобы помочь вам восстановить вашу личную историю происхождения как человека – от того момента, когда одна из яйцеклеток вашей матери была оплодотворена одним из отцовских сперматозоидов, но также и для того, чтобы напомнить о вашей связи с далекими предшественниками. Моя книга приглашает вас в путешествие по человеческому телу, с головы и до кончиков пальцев ног и рук. В первых главах мы уделим особое внимание нашим ранним предкам, таким как черви и рыбы, но постепенно доберемся и до более молодых ветвей нашего генеалогического дерева. В конце мы поговорим о конечностях и рассмотрим кисти и стопы как вымерших непосредственных предков человека, так и наших ныне живущих двоюродных братьев – человекообразных обезьян, таких как гориллы и шимпанзе.

Надеюсь убедить вас в том, что история возникновения и развития человеческого тела – это самый увлекательный рассказ из всех, что может предложить нашему вниманию наука. Каждый из нас совершил путешествие от единственной клетки до сложного организма, который состоит приблизительно из ста триллионов клеток, относящихся к нескольким сотням типов. Однако одновременно каждый из нас – продукт эволюции, и, как мы выясним, организмы наши весьма далеки от совершенства. Миллионы лет эволюции произвели нечто вполне работоспособное, но это нечто ограничено историей своего возникновения и своим строением. Чем глубже я погружаюсь в изучение структуры и функций человеческого тела, тем лучше понимаю, каким невообразимым, небрежно смешанным коктейлем из разных частей и кусочков является наш организм – дом, в котором обитает каждый из нас. Это сооружение блистательно, но у него есть свои изъяны. Наша эволюционная история вплетена в наше развитие в эмбриональном периоде и даже в строение взрослого человеческого организма; многие недостатки нашего тела можно понять только в эволюционном контексте. Можно сказать, что наши предки оставили нам как свои великие достижения, так и свои крупные недостатки. Тело человека хранит анатомические следы самых древних предков, вкрапленные в события эмбрионального развития и запечатленные в нашей ДНК.

Эволюционная биология переживает волнующее время – если волнующим можно назвать время, порождающее множество новых вопросов. Мы все еще не понимаем, совершается ли эволюция постепенно или скачкообразно, мы также не знаем, насколько она предсказуема. Мы до сих пор исследуем вопрос о том, насколько форма и функция обусловлены природой (наследственностью) и насколько – воздействием окружающей среды. Нам хочется знать, насколько строение организма ограничено эволюционным прошлым и генетической программой, направляющей его развитие, и насколько оно подвержено влиянию внешней среды и естественного отбора.

Постигая историю «нашего создания» эволюционными и эмбриологическими методами, мы познакомимся с нашей анатомией и с нашими предками из эволюционного прошлого. Познакомимся мы и с учеными-первопроходцами, командой корабля, на котором мы будем совершать наше путешествие. Но главным героем этой истории останетесь *Вы*. Это рассказ о вашем эволюционном наследии, о вашем эмбриональном развитии, о том периоде жизни, когда вы особенно активно росли и изменялись и части вашего тела разворачивались, как элементы оригами, до тех пор пока из крошечного эмбриона не возник человек. Мы вплотную подойдем к преобразению столь же глубокому, как превращение гусеницы в бабочку. Каждый из нас претерпел подобную трансформацию, развиваясь из одной-единственной яйцеклетки сначала в плоский диск, потом в полую трубку. Потом в нечто с коротенькими конечностями, а затем в существо, в котором уже можно распознать человека. Все эти превращения происходят в течение всего двух месяцев после зачатия.

Это лучшая из всех историй творения – потому что она правдива. Но в ней есть и весьма странные откровения. В вашей ДНК можно найти следы признаков предка, который был общим для нас и плодовых мушек – дрозофил. В какой-то момент развития у эмбриона возникают зачатки жабр, как у рыб. Орудия труда, которыми наши предки начали пользоваться несколько миллионов лет назад, изменили нашу анатомию, сделав кисть руки такой, какой мы видим ее сегодня. Эта научно обоснованная история, собранная и составленная из многих источников, более необычна, более интересна, более захватывающа и красива, нежели любой выдуманный нами миф о Сотворении мира.

Краткая история идей

Зарождение нового человека, да, собственно, и любого организма оставалось одной из величайших загадок для науки до сравнительно недавнего времени. В IV веке до н. э. Аристотель написал книгу «О возникновении животных». Это был первый научный труд по эмбриологии. В нем Аристотель предположил, что мужское семя активизирует менструальную кровь, в результате чего и возникает зародыш. Сейчас такое предположение может показаться, мягко говоря, странным, но основано оно на вполне разумных допущениях; оно предполагает связь между половым актом и беременностью – и это, конечно, справедливо. Задолго до того времени, когда, посмотрев в микроскоп, люди увидели человеческую яйцеклетку, идея Аристотеля насчет менструальной крови имела определенный смысл: всем было известно, что с наступлением беременности у женщины прекращаются менструации.

Многим ученым последующих веков предположение о том, что у эмбриона в организме женщины нет никаких других предшественников, кроме телесных жидкостей, отнюдь не представлялось неразрешимой проблемой. Тогда полагали, что некоторые животные могут зарождаться даже из неживого вещества – так, например, думали, что мухи спонтанно зарождаются в гниющем мясе. Теория Аристотеля, которую он сам называл «теорией эпигенеза», предполагала, что сложное человеческое тело могло возникнуть от смешения двух простых жидкостей – семени (надо помнить, что тогда не имели ни малейшего представления о сперматозоидах и семя представляли себе как гомогенную мутную жидкость) и менструальной крови. Надо сказать, что эта теория продержалась два тысячелетия.

Древнегреческий «отец медицины» Гиппократ предложил иную концепцию – на его взгляд, зачатие требовало взаимодействия мужского и женского семени, но мысль Аристотеля о ключевой роли мужского семени оказалась все же более влиятельной. В середине XVII века в справедливости воззрений Аристотеля усомнился Уильям Гарвей, когда начал исследовать зарождение животных, производя для этого их вскрытие. Гарвей был убежден, что у женских особей есть «яйца» и находятся они в яичниках, но обнаружить их Гарвею не удалось.

Теперь-то все мы знаем, как происходит зачатие, и знание это представляется нам абсолютно очевидным. Однако история открытия процесса зарождения человеческой жизни сложна и увлекательна. Открытие это зависело от возможности видеть, что происходит, причем на микроскопическом уровне. Оно зависело от изобретения технологии, которая повышала бы оптические способности глаза, позволяя нам рассмотреть мелкие объекты, недоступные зрению без системы увеличивающих линз. Простые увеличительные стекла появились еще в XVI веке, но доподлинно неизвестно, кто изобрел первый микроскоп. Галилей прославился изобретением телескопа, но он создал и приспособление, названное им *occholino* (в буквальном переводе с итальянского «глазок», а в современном итальянском языке это слово означает «подмигивание»). В начале XVII века «глазок» Галилея был уже известен под его нынешним названием – микроскоп. Позднее, в том же столетии, Роберт Гук пользовался микроскопом для изучения скрытых деталей знакомых объектов – блох, крапивы и пчелиных жал. Результаты своих наблюдений Гук опубликовал в превосходной книге «Микрография».

Одновременно по другую сторону Северного моря голландский натуралист, а также продавец мануфактуры Антони ван Левенгук увлекся изготовлением крошечных увеличительных стекол, из которых смонтировал микроскоп. Пользуясь этим прибором, он принялся рассматривать детали множества объектов и сумел рассмотреть то, чего до него никто не видел. Он изучил водоросли вольвокс, мельчайших планктонных животных, разглядел, как мухи откладывают яйца. Исследовал он и красные кровяные клетки человека, строение селезенки, мышц и костей.

Антони ван Левенгук стал первым человеком, который сумел увидеть человеческие сперматозоиды. Вы только вообразите себе, какое удивление он испытал. Представить это действительно трудно, потому что мы знаем, что сперматозоиды на самом деле существуют, но постарайтесь на минуту забыть об этом: на дворе 1677 год, а вы – ван Левенгук, и вы зачарованы микроскопическим миром. Вам известно, что мужское семя каким-то образом способствует зачатию ребенка, и вы берете немного семенной жидкости (как вы ее добудете, я предоставляю вашему воображению) и помещаете ее каплю под объектив микроскопа. Вы смотрите в окуляр и поражаетесь открывшемуся вашим глазам зрелищу. Все в поле вашего зрения буквально кишит движением. Вы можете различить отдельные, похожие на головастиков клетки, неистово бьющие своими хвостами. Они выглядят как микроорганизмы, как простейшие, которых вы уже обнаружили (и о которых даже написали письмо в Королевское общество). Но эти «анималькули» (лат. «зверьки») получены вами из человеческого тела.

Оглядываясь назад, надо признать, что самое удивительное в этой истории то, что ни сам ван Левенгук, ни ученые Королевского общества в Лондоне, которым он отправил результаты своих наблюдений, не поняли всего значения открытия – а это была бы половина разгадки тайны зачатия.

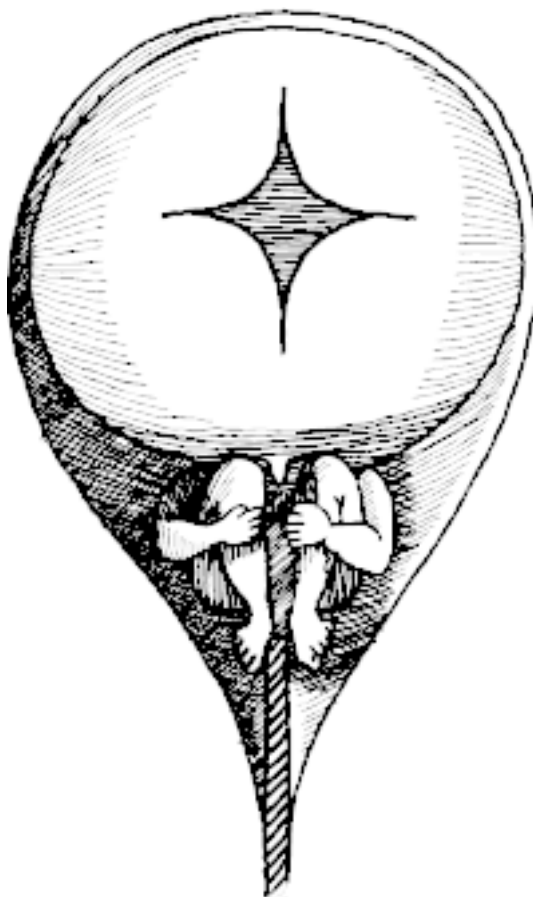
Другой голландец снискал себе славу тем, что *чуть-чуть* не открыл человеческую яйцеклетку. Этот человек был врачом, и звали его Ренье де Грааф. В 1673 году он опубликовал трактат о женских половых органах и включил в него описание развития фолликулов в яичниках кроликов. Эти пузырьки, состоящие из клеток, – они присутствуют и в человеческих яичниках – в настоящее время носят имя первооткрывателя, их называют графовыми пузырьками. Де Грааф наблюдал также появление маленьких сферических образований в фаллопиевых трубах после разрыва фолликула и вывел отсюда, что фолликулы – и сферические образования – должны содержать яйцеклетки. Правда, сами яйцеклетки у млекопитающих были впервые обнаружены и описаны только в 1827 году.

Человеком, который это сделал, был Карл Эрнст фон Бэр. Судя по имени, можно предположить, что его предки были немцами, но на самом деле он родился в Эстонии, которая тогда, в 1792-м, была частью Российской империи. Будучи профессором зоологии Кенигсбергского университета, фон Бэр изучал эмбриологию, и в 1827 году открыл яйцеклетку млекопитающего. Обнаружил он ее в полости графова пузырька в фолликуле яичника.

Фантастика: казалось бы, эти ученые разгадали загадку природы – есть яйцо, и есть сперматозоид. Соединившись, они образуют эмбрион, зародыш. Однако эта простота кажущаяся – это нам, вооруженным современными знаниями, все понятно. Вероятно, взгляды Аристотеля укоренились в науке так прочно, что было невозможно поверить в то, что яйцеклетка и сперматозоид в равной степени участвуют в некоем акте, который может привести к созданию нового индивида. Научное сообщество оказалось расколотым на два лагеря: овисты и сперматисты. Овисты считали сперматозоид всего лишь силой, которая «пробуждает» яйцеклетку. Сперматисты считали яйцеклетку лишь источником питания для нового организма, порожденного сперматозоидом.

Обнаружение сперматозоида и яйцеклетки позволило отбросить идею Аристотеля об эпигенезе, о том, что сложная новая жизнь возникает в результате смешения двух простых жидкостей, но теперь предстояло разрешить другую, не менее запутанную проблему: как может сложный организм развиваться из таких заведомо простых элементов, как сперматозоид и яйцеклетка? Многие ученые XVII и XVIII веков нашли ответ на него в теории преформизма. Эта теория предполагает, что организм во всей своей сложности уже существует, но, так сказать, в миниатюре, в виде предшественника зародыша, находящегося либо в яйцеклетке (согласно воззрениям овистов), либо в сперматозоиде (согласно воззрениям сперматистов). Крайним вариантом этой теории было представление о том, что крошечный человечек («гомункулус») целиком присутствует в сперматозоиде. Голландский оптик Николас Хартсукер (научившийся

искусству шлифовки линз у Левенгука) нарисовал такого гомункулуса, калачиком свернувшегося в головке сперматозоида.



Гомункулус Хартсукера

Французский философ и священник Николя Мальбранш в идее преформизма зашел еще дальше. В 1674 году он предложил теорию «вложения» (*фр. emboitement*), согласно которой каждый индивид с самого начала находится в яйце матери. Мальбранш писал: «В зародыше луковицы тюльпана находится целый тюльпан. В зародыше свежего куриного яйца... виден целиком сформированный цыпленок».

Отсюда Мальбранш заключил, что «все тела рожденных на свет людей и животных... были созданы, возможно, тогда же, когда состоялся акт Сотворения мира». Другими словами, каждый, кто когда-либо жил (и будет жить в будущем), всегда существовал в миниатюрной форме, упакованный в яичниках Евы, напоминая, по мысли Мальбранша, некую невероятную разновидность русской матрешки. Этот вариант преформизма называли в то время теорией эволюции, что было весьма удачным термином, так как эволюция в переводе с латыни — это «развертывание». Сегодня, разумеется, этим термином обозначают нечто совершенно другое. Впрочем, людям, верившим, что возраст Вселенной насчитывает всего несколько тысяч лет, было легко поверить и в теорию вложения. Она родилась до открытия клеток и появления клеточной теории, которая положила предел минимальному размеру живых существ, и поэтому современникам Мальбранша ничего не стоило представить себе сколь угодно крошечное преформированное существо.

Из этого не стоит, однако, делать вывод, будто все ученые того времени безоговорочно верили в столь крайний вариант преформизма. Всякий, кто рассматривал в микроскопе ранний эмбрион, наверняка знал, что он выглядит совсем не так, как крошечный взрослый инди-

вид (по крайней мере, не в течение первых нескольких недель). Разумеется, наиболее крайнее выражение преформизма в наши дни может вызвать улыбку, но все же надо признать, что сама идея была отнюдь не беспочвенной, так как суть утверждений его приверженцев заключалась в том, что сложный организм не может появиться из материи совершенно не организованной и абсолютно гомогенной. И конечно, в этом тогдашние ученые были правы; правда, потребовалось еще немного времени, прежде чем была открыта молекула, несущая информацию, необходимую для формирования совершенно нового организма.

Начало

Теперь мы гораздо лучше понимаем, что происходит в процессе создания нового человеческого существа. Ваша генетическая идентичность, идентичность нового индивида, была заложена в тот момент, когда один из сперматозоидов вашего отца, проникнув в яйцевод фаллопиевой трубы, встретился там с яйцеклеткой, двигавшейся навстречу – к матке.

Представьте себе эту яйцеклетку: она вырвалась на свободу из своего прежнего обиталища в яичнике вместе с приставшим к ней скоплением более мелких клеток. Все они попадают в воронкообразное отверстие маточной трубы, обрамленное пальцевидной бахромой – фимбриями. И вот теперь яйцеклетка движется по яйцеводу маточной трубы, подталкиваемая потоком содержащейся в трубах жидкости, которую приводят в движение реснички трубного эпителия (оболочки, выстилающей изнутри маточные трубы).

А теперь представьте себе сперматозоид, плывущий по той же трубе, преодолевая ток жидкости, помогая себе неистовыми биениями хвоста. До этого сперматозоид уже преодолел канал шейки матки, саму матку и проник с противоположной стороны в яйцевод, или, как его называют у людей, в маточную, или фаллопиеву, трубу. Для того чтобы забраться в такую даль, сперматозоиду может потребоваться несколько дней. Один сперматозоид достигает яйцеклетки первым, благодаря случайностям и везению. Во время эякуляции во влагалище извергается некоторый объем семенной жидкости, содержащий сотни миллионов сперматозоидов. Несмотря на то что они уже проделали долгий путь от яичек (мужских половых желез), им еще предстоит столь же далекое путешествие. Многие погибнут, не успев покинуть влагалище, перед входом в узкий коридор канала шейки матки. Если у женщины неблагоприятный для зачатия день цикла, то липкая слизь, выделяемая шейкой, образует барьер, препятствующий проникновению сперматозоидов в матку. Однако к моменту овуляции слизь становится более скользкой и тягучей. (На этом изменении основан старый как мир способ определения самого благоприятного для зачатия дня в течение менструального цикла. Обычно густая и липкая цервикальная слизь начинает по консистенции напоминать яичный белок. Немцы обозначают это свойство словом *Spinnbarkeit* – эластичность, «кристаллизация слизи».) Преодолев шейку матки и проникнув в полость тела матки, многие сперматозоиды отстают, а оставшиеся, яростно работая хвостами, плывут вверх, вверх и только вверх, по направлению к трубам. Продвигающаяся яйцеклетка посылает химические сигналы, привлекающие сперматозоиды к нужной трубе. Число сперматозоидов, достигающих яйцеклетки, составляет ничтожную долю от сперматозоидов, попавших во влагалище во время семяизвержения. Возможно, до яйцеклетки добирается едва ли один сперматозоид из миллиона. Но конкуренция на этом не заканчивается.

До яйцеклетки доплывают одновременно несколько сотен сперматозоидов. Клетка со всех сторон окружена ими, но для оплодотворения яйцеклетке нужен только один. Некоторым сперматозоидам удастся прорваться сквозь окружающий яйцеклетку лучистый венец – остаток яйценосного бугорка, из которого, при его разрыве после овуляции, высвобождается яйцеклетка. Пройдя сквозь барьер из клеток лучистого венца, сперматозоиды наталкиваются на гликопротеиновую блестящую оболочку (*zona pellucida*) – толстый желеобразный слой, окружающий мембрану яйцеклетки. Теперь сперматозоидам некуда отступать; блестящая оболочка прочно захватывает мужские половые клетки. Головки сперматозоидов вязнут в геле; гликопротеины связываются с находящимися в мембране сперматозоидов рецепторами, к которым они подходят, как ключ к замку. И эти ключи действительно кое-что отпирают: после взаимодействия гликопротеинов с рецепторами сперматозоиды выделяют фермент, расщепляющий гель блестящей оболочки, что позволяет одному из сперматозоидов преодолеть оболочку и достичь клеточной мембраны самой яйцеклетки. Теперь мембрана сперматозоида

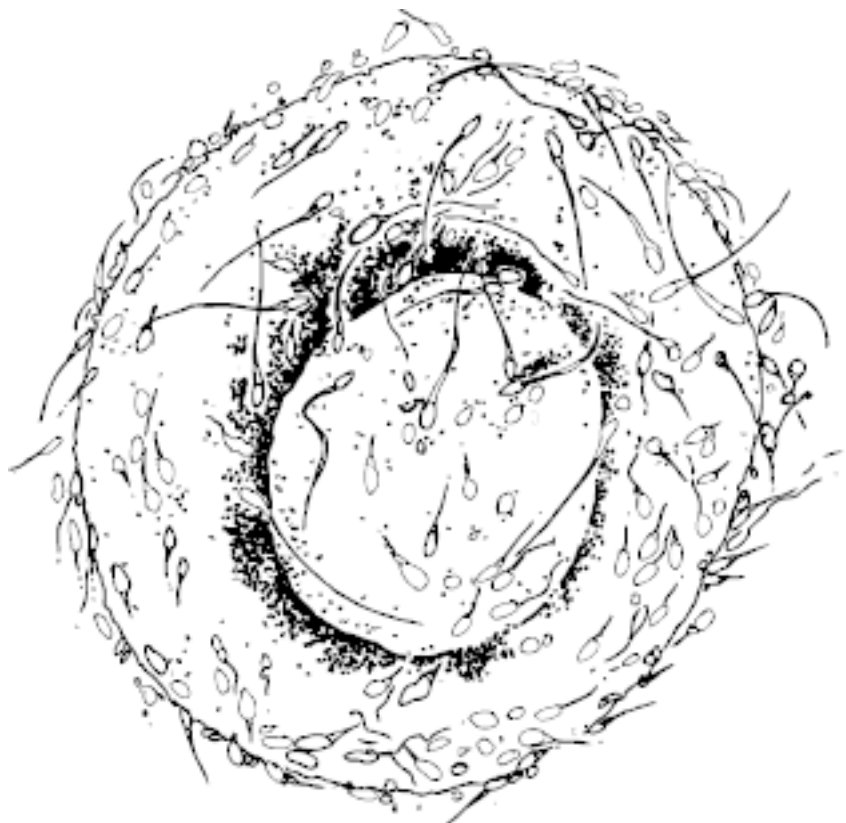
непосредственно соприкасается с мембраной яйцеклетки. Клеточные мембраны сливаются, и обе клетки – крошечный сперматозоид и гигантская яйцеклетка – объединяются в одну клетку.

Это и есть момент зачатия будущего человека: невероятное, но обыденное событие, происходящее в темных закоулках материнского тела. Надо, правда, помнить, что это оплодотворенное яйцо еще не личность. Это всего-навсего клетка. В этот момент нет никаких гарантий того, что новая клетка (зигота) разовьется в целостный организм. Только оглядываясь назад, вы можете сказать: да, я был зачат именно в тот самый момент.

В тот момент, когда сливаются мембраны сперматозоида и яйцеклетки, происходят три события. Сперматозоид, точнее, его ядро, продолжает свой путь внутри яйцеклетки, оставив снаружи свою пустую оболочку. Внутри яйцеклетки, непосредственно у ее мембраны, находятся крошечные пузырьки. После проникновения сперматозоида в яйцеклетку оболочки этих пузырьков сливаются с мембраной яйцеклетки и высвобождают в блестящую оболочку особые вещества. Эти вещества делают блестящую оболочку плотной и непроницаемой для остальных сперматозоидов, что очень важно. Дело в том, что яйцеклетке, чтобы дополнить свой половинный набор из 23 хромосом, нужен еще один половинный набор из 23 хромосом, содержащийся в сперматозоиде, – для того, чтобы в результате образовался полноценный набор из 46 хромосом. (Именно столько хромосом содержат все соматические клетки нашего тела.) Если же в яйцеклетку проникнет хотя бы один «лишний» сперматозоид, то образуется избыточное количество хромосом и формирование зародыша будет безнадежно нарушено.

И наконец, в тот момент, когда сперматозоид проникает в яйцеклетку, материнская ДНК претерпевает завершающую стадию подготовки, после которой материнские хромосомы могут соединиться с отцовскими хромосомами.

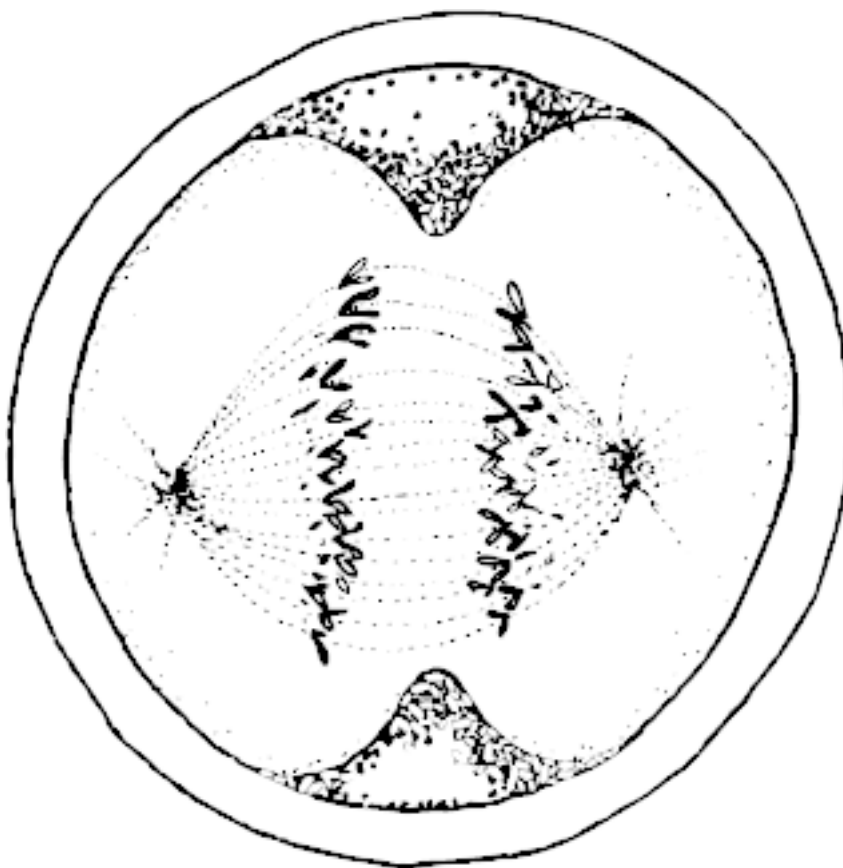
Сперматозоид теряет свой хвост после того, как проникает внутрь яйцеклетки, – хвост отваливается и распадается. Все это напоминает запуск искусственного спутника. Когда ракета-носитель достигает орбиты, от нее отделяется орбитальная капсула. Такой капсулой внутри яйцеклетки становится головка сперматозоида, которая содержит набор из 23 хромосом. Головка своим присутствием подает яйцеклетке сигнал о том, что ей пора превращаться в эмбрион. Эта упаковка генетического материала, каковой, по сути, является головка сперматозоида, начинает увеличиваться в объеме по мере того, как хромосомы разворачиваются в нити. Двойная спираль ДНК, формирующая хромосомы, расходится, как молния на одежде, и тут начинается волшебство наследственного материала. Строительные блоки ДНК (нуклеотиды) присоединяются в строгом порядке (комплементарно) к каждой половине «молнии», и, таким образом, получаются две «молнии» (удвоенная хромосома). Такое же удвоение хромосом происходит и в яйцеклетке. После этого оба набора удвоенных хромосом – один из яйцеклетки, а другой из сперматозоида – объединяются в едином ядре клетки. Так впервые встречаются материнские и отцовские ДНК, которые составляют 23 пары гомологичных хромосом.



Сперматозоиды входят в контакт с яйцеклеткой

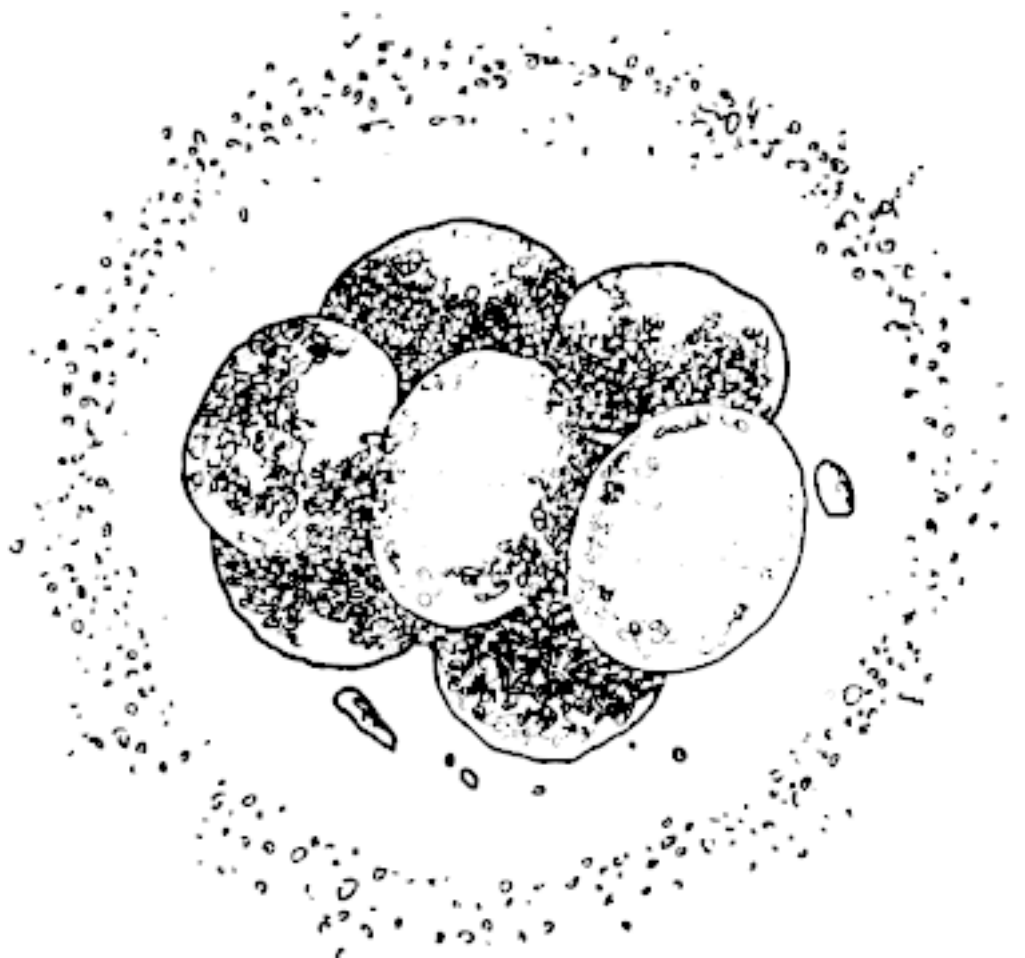
Теперь в зиготе присутствуют 46 удвоенных хромосом, количество ДНК в которых достаточно для формирования двух клеток. Удвоенные хромосомы выстраиваются вдоль экватора клетки, словно пары, готовые к танцу. Этот строй поддерживается структурой, называемой веретеном, нити которого представляют собой тончайшие белковые трубочки. Затем каждая удвоенная хромосома расщепляется на две хромосомы, которые отделяются друг от друга и расходятся к противоположным полюсам клетки. Одновременно мембрана оплодотворенной яйцеклетки образует складку вдоль экватора, которая начинает втягиваться внутрь, образуя структуру, напоминающую гантель. Шары гантели в конце концов расходятся, и образуются две клетки. Происходит это в среднем через одни сутки после проникновения сперматозоида внутрь клетки. Итак, к концу первого дня жизни вы состояли из двух совершенно одинаковых клеток.

Однако процесс на этом отнюдь не останавливается. Каждая клетка приступает к своей работе. В каждой из двух клеток происходит удвоение ДНК, и она снова делится. Через три дня после зачатия вы уже представляли собой конгломерат из 16 клеток. Эмбрион на этой стадии развития называют поэтическим термином морула (*лат. morula* – тутовая ягода). Все время, пока происходят эти события, делящиеся клетки находятся в непрерывном движении. Повинуясь волнообразным перистальтическим сокращениям маточных труб и биению ресничек, выстилающих внутреннюю их поверхность, зародыш движется к цели своего путешествия, к матке. В это время эмбрион представляет собой лишь скопление клеток, но у наружных и внутренних клеток уже разная судьба. Из клеток внешнего слоя образуется плацента – орган, отвечающий за поддержание жизни плода, а из внутреннего слоя образуется собственно эмбрион.



Хромосомы расходятся под действием веретена деления к противоположным полюсам клетки: это начало деления зиготы (оплодотворенной яйцеклетки)

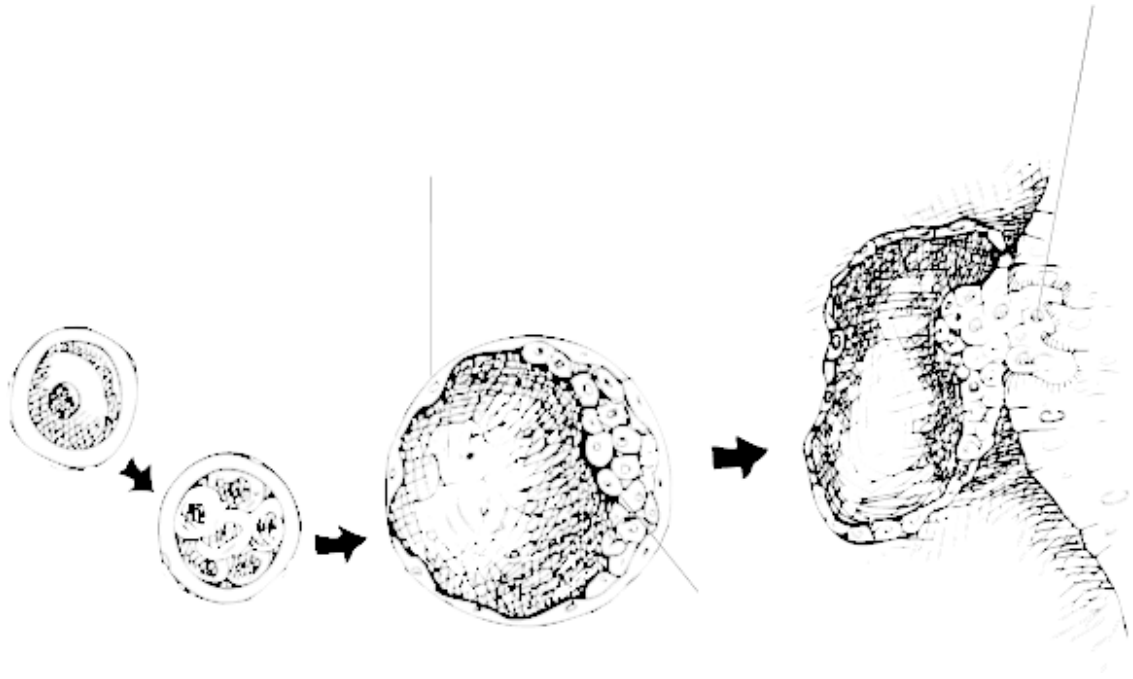
Спустя неделю после оплодотворения, то есть в то время, пока эмбрион плывет в матку, внутри скопления его клеток образуется наполненная жидкостью полость. Зародыш перестает быть морулой; он превращается в бластоцисту – это слово образовано от двух древнегреческих корней – «бластос» – зародыш и «кистос» – пузырь. Масса внутренних клеток бластоцисты распределена в ее полости неравномерно. На одном конце она сильно выступает внутрь полости. Таким образом, у зародыша возникает полярность. Возможно, вам это не покажется важным, но такое неравномерное распределение означает, что развивающийся эмбрион приобрел ориентацию. Независимо от того, в каком положении бластоциста дрейфует по полости матки, она отныне имеет свою постоянную *внутреннюю* ориентацию. У клеток этой внутренней массы иная судьба, нежели у наружных клеток.



Морула

Вот и настал конец небольшого, длиной всего 10 см, путешествия. Блостоциста находит пристанище в слизистой оболочке матки, и, как только зародыш имплантируется в стенку матки, наружные клетки начинают размножаться, проникая в ее толщу. Так начинается формирование плацента.

В эмбриональном развитии немало возможностей нарушения нормального хода процесса. Чем сложнее организм, тем больше шансов на то, что что-то пойдет не так. На самом деле, однако, и в самом начале развития, еще до того, как организм приобретает определенную сложность, существует большая вероятность фатальных ошибок. Одна из таких ошибок – попадание блостоцисты в неподходящее место стенки матки. Блостоциста чаще всего имплантируется в стенку матки, но так случается не всегда. Она может застрять в маточной трубе или, что случается гораздо реже, имплантироваться в стенку брюшной полости. Такие ситуации называют эктопической (от греческого «эктопиос», что означает «вне положенного места»), или внематочной, беременностью. Известно, что матка, по мере роста плода, растягивается и увеличивается в объеме, но другие органы не отличаются такой податливостью. Эктопическая беременность может оказаться очень опасной: имплантация эмбриона в стенку маточной трубы может привести к разрыву питающих ее сосудов, что приводит к массивному внутреннему кровотечению, каковое без экстренного хирургического вмешательства может закончиться смертью.



Первая неделя эмбрионального развития: стадия двух клеток, морула, бластоциста, имплантация бластоцисты в стенку матки

В вашем случае можно с полной уверенностью сказать, что ваш зародыш безошибочно имплантировался в стенку матки. На второй неделе эмбрионального развития внутренние клетки (которые все это время продолжают делиться) образуют два слоя – верхний (наружный) слой, называемый эмбриобластом, и нижний (внутренний) слой, называемый трофобластом. Такая дифференцировка зависит от положения клеток по отношению к полости бластоцисты. Клетки трофобласта размножаются и выстилают внутреннюю поверхность полости бластоцисты. С этого момента полость называют желточным мешком, несмотря на то что никакого желтка в ней нет, потому что у нас, как у млекопитающих, нет потребности в запасе питательных веществ. Однако здесь мы сталкиваемся с одной важной вещью, касающейся эмбриологического развития организма. Ни один организм, возникший в ходе эволюции, не «конструируется» с чистого листа. Эволюция вынуждена довольствоваться уже имеющимися решениями, лишь слегка корректируя и оптимизируя их. Это означает, что в вашем эмбриональном развитии будут воплощены некоторые аспекты вашего эволюционного наследия. Тот факт, что у нас в эмбриональном периоде *был* желточный мешок, пусть даже крошечный по размерам и не содержащий желтка, многое говорит о наших предках и тесной связи эмбриологии и эволюции. Да, несмотря на то что сами мы – плацентарные млекопитающие животные, наши предки откладывали яйца, наполненные питательным желтком. Эта особенность эхом откликнулась в нашем эмбриональном развитии образованием желточного мешка.

На второй неделе эмбрионального развития происходит кое-что еще: внутри наружного слоя клеток бластоцисты начинает формироваться новое пространство. Это пространство называют амниотической полостью, плодным пузырем или просто амнионом. Вначале эта полость располагается с одной стороны от эмбриона, но в конечном счете мешок станет больше и охватит весь зародыш, который до самого рождения будет плавать в амниотической жидкости внутри плодного пузыря. Между двумя полостями – амниотической и полостью желточного мешка – оказывается зажатый двуслойный зародышевый диск, состоящий из эмбриобласта и трофобласта. Остается еще очень долгий путь до того момента, когда эмбрион начнет хотя бы отдаленно напоминать человека, но до того, как будет достигнута эта стадия, зародыш пройдет стадии развития, характерные для животных множества других типов. На четвертой неделе

после зачатия человеческий эмбрион очень похож на зародыш рыбы на той же стадии развития. На пятой неделе, когда становятся различимыми конечности, эмбрион человека разительно напоминает эмбрион цыпленка на той же стадии развития. Еще через пару недель человеческий зародыш проходит эмбриональные стадии других млекопитающих животных. На этой стадии нас вполне можно спутать со свиньей, собакой или мышью, но, правда, форма головы и наличие пяти пальцев на кистях и стопах выдает в нас приматов.

Таким образом, не только желточный мешок напоминает о нашем эволюционном прошлом. Такое поочередное сходство с древними предшественниками и с животными ныне существующих видов привело к созданию одной из самых неудачных теорий в истории эмбриологии: теории рекапитуляции.

Напоминание о прошлом

Глядя на крошечные эмбрионы различных животных, невозможно игнорировать тот факт, что в них мы различаем некое «эхо» эволюции. У человеческого эмбриона есть стадия, когда в нем видны зачатки рыбьих жабр, а также стадия, на которой эмбрион обладает таким же сердцем, какое обнаруживается у эмбрионов рыб. Так возможно ли, что человеческие эмбрионы суть «воспоминания» или «повторение» эволюционного прошлого?

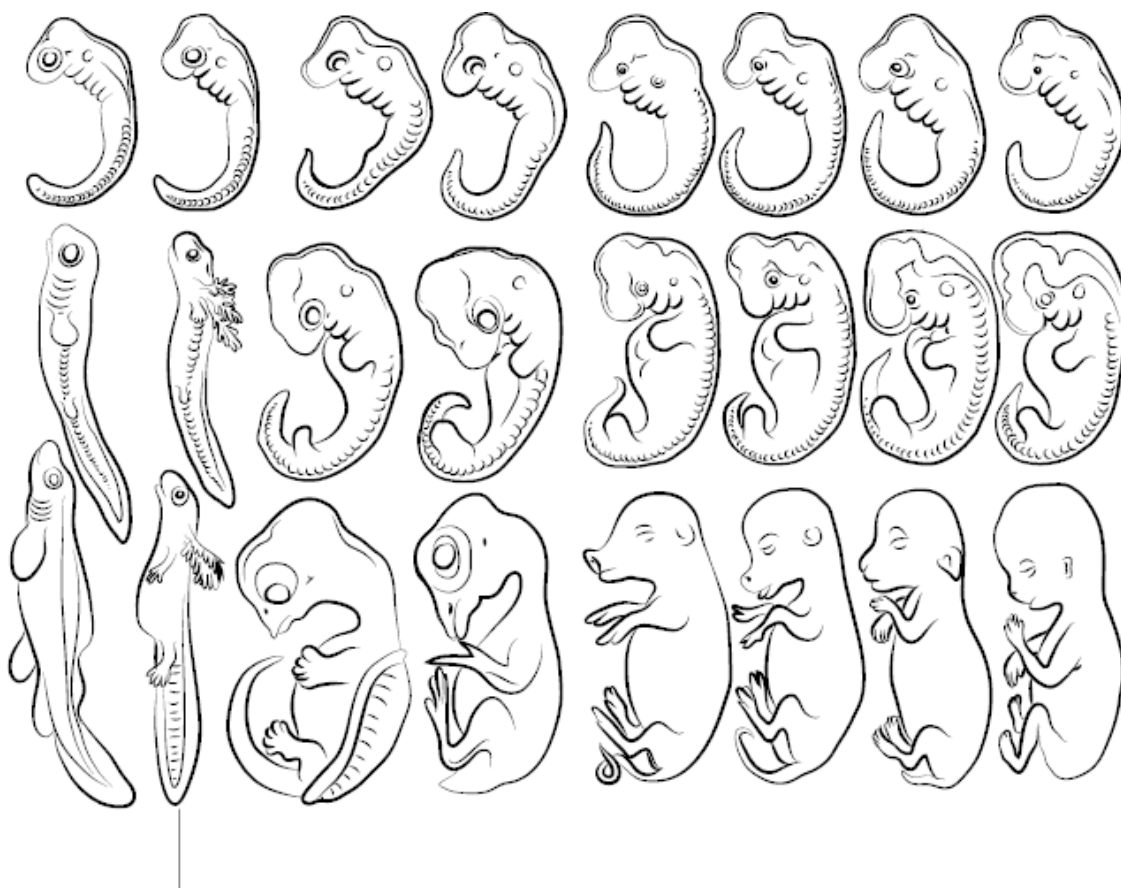


Рисунок заимствован из книги Геккеля и иллюстрирует сходные стадии эмбрионального развития животных восьми биологических видов

Эрнст Геккель, ученый, работавший в Германии во второй половине XIX века, биолог-новатор, открывший и описавший многие виды животных, сразу увлекся идеями Дарвина и стал пропагандировать учение об эволюции. Геккеля помнят также как человека, создавшего теорию рекапитуляции – и неверно ее понявшего, – хотя и он не был первым ученым, которому пришла в голову эта идея.

Аристотель классифицировал организмы согласно степени их сложности и совершенства, и полагал, что люди в своем эмбриональном развитии проходят стадии, соответствующие этим организмам, прежде чем достичь совершенства – естественно, человеческого. Однако на самом деле Аристотель лишь провел аналогию между различными стадиями эмбрионального развития человека и животными согласно своей классификации, основанной на иерархии сложности их строения.

Эта линейная классификация животных – всех животных – была в высшей степени популярной и влиятельной идеей. Преформисты (ученые, считавшие, что человек в своем

окончательном виде находится в свернутом состоянии внутри яйцеклетки или сперматозоида) рассматривали всю историю жизни на Земле как созданную в момент акта творения: по их мнению, организмы просто разворачивались до своей натуральной величины к моменту рождения. Все на свете было предопределено, и каждый организм был связан с предыдущими и последующими организмами непрерывной цепью жизни, природной лестницей – *scala naturae*. Для лестницы жизни характерно последовательное увеличение сложности, достигшее в своем апогее, конечно же, цивилизованного Человека.

В конце XVIII – начале XIX века немецкая школа натурфилософии отвергла идею о том, что эволюция протекала по предначертанному свыше пути, но ее представители по-прежнему считали, что она движется строго в одном направлении: к увеличению сложности и к появлению сознания. Венцом творения считался опять-таки человек. Именно один из натурфилософов и высказал идею рекапитуляции. Это был врач и эмбриолог Иоганн Фридрих Меккель. Его имя увековечено в названиях двух врожденных дефектов, о которых знает каждый студент-медик: хрящ Меккеля (возникающий в развивающейся нижней челюсти) и дивертикул Меккеля (небольшое врожденное выпячивание стенки кишки). Меккель видел глубокую связь между великой цепью жизни и способом, каким простой, по видимости, эмбрион становится все сложнее и сложнее по мере развития. Меккель был убежден, что эмбрионы – в малом масштабе и очень быстро – проходят в своем развитии все этапы эволюции.

Отнюдь не все натурфилософы были приверженцами идеи рекапитуляции. Карл Эрнст фон Бэр, первооткрыватель яйцеклетки млекопитающих, изучал куриные эмбрионы и столкнулся с несколькими проблемами, идущими вразрез с этой идеей. Во-первых, эмбрионы никогда не походили на взрослых особей других видов животных; во-вторых, эмбриональные структуры часто появлялись не в той последовательности, которая задана лестницей природы. В-третьих, и это было самое главное, фон Бэр заметил, что эмбриональное развитие заключалось в том, что нечто весьма простое постепенно превращалось в нечто все более и более сложное. Рекапитуляция не имела смысла просто потому, что даже самые «примитивные» животные, например рыбы, на самом деле невероятно сложны. В своем неприятии рекапитуляции фон Бэр одновременно натолкнулся на один основополагающий закон биологии – дифференциацию. Наблюдая куриные эмбрионы, он собственными глазами видел, какой сложный организм развивался из простых исходных структур.

Все эти теории развития первой половины XIX века основаны на теоретическом фундаменте, который был готов вот-вот рассыпаться. Этим фундаментом стал библейский креационизм, который нес с собой представление о неизменности видов. Это означало, что появление в эмбриональном периоде у человека структур, общих со взрослыми животными, объясняли исключительно божественным замыслом.

В 1859 году Чарльз Дарвин опубликовал свою книгу «Происхождение видов путем естественного отбора», и все красочное полотно биологии оказалось накинутым на новую раму. Биология обрела новое основание. В действительности главный тезис «Происхождения видов» был явлен миру годом раньше в совместной статье Дарвина и Альфреда Рассела Уоллеса, представленной Линнеевскому обществу в Лондоне. Как ни странно, но эта статья не вызвала никаких особых откликов в научном сообществе. Тем не менее книга о происхождении видов путем естественного отбора была все же замечена. Более ранние концепции о последовательности неизменных биологических видов на *scala naturae* были теперь заменены на идею *реальной* последовательности видов, возникающих с течением времени на ветвящемся древе жизни (хотя надо отметить, что идея линейной последовательности очень неохотно сдает свои позиции: у нее до сих пор есть последователи).

В «Происхождении видов» Дарвин писал о поразительном сходстве эмбрионов различных животных, иллюстрируя свою точку зрения случаем, происшедшим со знаменитым анатомом Луи Агасси, который, «забыв наклеить ярлык на банку с эмбрионом какого-то

млекопитающего, не мог потом понять, принадлежал ли он млекопитающему, птице или пресмыкающемуся». Дарвин понял, что сходство эмбрионов может дать нам важный ключ к разгадке эволюционных отношений между животными. Однако у взрослых животных это сходство исчезает и появляются новые приспособительные признаки. Согласно взглядам креационистов, сходство между эмбрионами (и взрослыми особями) является отражением абстрактной связи между животными, которая присутствовала в разуме Творца. Однако, согласно новой эволюционной парадигме, эта схожесть говорила о вполне реальной, физической связи между предками и потомками.

Немецкий ученый Эрнст Геккель, будучи горячим сторонником теории Дарвина, написал популярную книгу по биологии, морфологии и эволюции. Несмотря на возражения фон Бэра, теория рекапитуляции сохраняла прочные позиции в середине XIX века, и Геккель снабдил ее эволюционным обоснованием. Геккель считал, что эволюционные изменения происходят благодаря добавлению новых изменений в конце периода эмбрионального развития. Это означало, что эмбриональное развитие организма является точным отражением последовательности эволюционного развития. Так, например, человеческий эмбрион, как и следовало ожидать, проходит в своем развитии стадии, на которых он последовательно напоминает рыбу, амфибию, рептилию и только ближе к концу эмбрионального периода – млекопитающее. Геккель очень афористично выразил свою мысль: «Онтогенез повторяет филогенез». Другими словами, эмбриональное развитие повторяет эволюционную историю животного.

Теория рекапитуляции Геккеля (или биогенетический закон) стала невероятно популярной в его время, и многие биологи были покорены столь изящным объяснением сходства между онтогенезом и филогенезом. Увы, этой теории была уготована печальная судьба. На рубеже XIX и XX веков, после рождения экспериментальной эмбриологии и появления новой науки о наследственности, названной «генетикой», теория Геккеля была окончательно отброшена. Эмбриологи начали изучать механизм развития, перемещая на ранних стадиях участки тканей в зародышах амфибий и наблюдая за тем, что из всего этого получится. Генетики, в свою очередь, показали, что изменения не просто добавляются в конце эмбрионального развития: все гены присутствуют в зародыше с момента зачатия, а мутации могут изменить ход развития в любой его момент. Основная идея рекапитуляции, а именно то, что дополнительные признаки могут быть добавлены только в конце периода эмбрионального развития и что эмбрионы проходят стадии, эквивалентные взрослому состоянию предковых форм, в результате тщательных исследований не подтвердилась.

Драматический конец теории рекапитуляции сделал само ее обсуждение достаточно щекотливым. Даже упоминание биогенетического закона Геккеля стало, в какой-то мере, неприличным. Теория так сильно себя дискредитировала, что ее можно было употребить только разве что в качестве назидательной истории для следующих поколений ученых. Тем не менее между эмбриональным развитием и эволюцией все же прослеживается параллелизм. Геккель оказался неправ: эмбриональное развитие животных не является повторением форм их взрослых предков. Однако фон Бэр (о котором все как-то забыли в своем увлечении этой научной сенсацией), а также Дарвин оказались правы. Сходство эмбрионов разных видов объясняется именно наличием общих предков.

Дарвин и Альфред Рассел Уоллес оба и практически одновременно пришли к идее эволюции путем естественного отбора, наблюдая и сравнивая главным образом различия в анатомии и физиологии, а также эмбриональном развитии живых организмов. Это невероятно важная деталь, которую стараются не замечать креационисты, ибо она означает, что эта теория не зависит от палеонтологических находок и от прогресса науки, происшедшего со времен Викторианской эпохи. Самое изящное объяснение тех свойств, какие мы наблюдаем у ныне живущих видов, заключается в том, что все животные родственны друг другу: все они ветви одного огромного эволюционного древа жизни.

Во второй половине XIX века биологам и геологам стало ясно, что вымершие животные, известные нам по оставшимся от них окаменелостям, тоже были частями этого великого древа. Однако со времени опубликования в 1858 году фундаментальной статьи Дарвина и Уоллеса было сделано множество чудесных открытий, касающихся ископаемых организмов, и полученные данные позволили связать между собой различные группы животных. Теперь в нашем распоряжении есть ископаемые остатки рыб с плавниками, напоминающими конечности (тиктаалик), а также ископаемые остатки древнейших амфибий – таких, как акантостега (*Acanthostega*), которые показали нам, как выглядели первые в истории конечности четвероногих животных. Мы обнаружили оперенных динозавров, по которым можно судить о происхождении птиц. Мы открыли ископаемые остатки предка современных китов, у которого отчетливо видны задние конечности. Обнаружили окаменелости рептилий, похожих на предков млекопитающих. Сейчас мы обладаем довольно обширными знаниями об ископаемых останках более 20 видов гоминид¹ – эволюционной ветви двуногих антропоморфных приматов, насчитывающей около 6 миллионов лет, среди которых были и наши с вами предки.

Помимо обильных палеонтологических и палеоантропологических данных об ископаемых формах, мы теперь можем исследовать любые структуры организма гораздо более подробно, чем могли мечтать ученые Викторианской эпохи. Ткани и органы можно теперь исследовать с помощью электронной микроскопии и иммуногистохимии; клетки можно окрашивать в разные цвета в зависимости от вырабатываемых ими белков. И конечно же, после открытия ДНК состоялся большой прорыв в понимании природы наследственных признаков, в выяснении функции генов (эти исследования интенсивно продолжаются и в настоящее время) и в прочтении всего человеческого генома (хотя эта область исследований если и вышла из эмбрионального периода, все же продолжает пребывать в пленках).

Развитие эмбриологии было подстегнуто достижениями в гистологии и генетике. Эксперименты, проведенные во второй половине XX века, приоткрыли завесу над тем, как клетки «решают», в какие именно ткани они будут развиваться. Эмбриологические исследования приобрели иной характер после того, как было доказано, что нить ДНК представляет собой «код жизни». Теперь речь пошла не просто о том, как формируется эмбрион с течением времени, но и о том, какие гены управляют этим процессом. Фон Бэр мог прильнуть к микроскопу и найти сходство между ранними стадиями эмбрионов курицы, рыбы и человека, из которых впоследствии развивались совершенно разные организмы. Теперь же секвенирование ДНК позволяет определить и более глубинное родство, записанное в генетическом коде животных разных видов.

Современная эмбриология показывает, как генетический код организма транслируется в составляющие организм белки. Для того чтобы реконструировать древо жизни, мы теперь можем использовать не только сравнительную анатомию, но проникнуть на более глубокие уровни, используя для этого сравнительную эмбриологию и сравнительную геномику. Генеалогические деревья видов, построенные на основании последовательностей нуклеотидов в ДНК, позволяют заглянуть в эволюционную историю глубже, чем это делает сравнительная анато-

¹ В книге используется термин *гоминиды* в «классическом» смысле – для обозначения семейства прямоходящих приматов, включающего людей и их вымерших предшественников, в том числе сахелантропа, ардипитека, австралопитеков. Эта эволюционная ветвь отделилась от филогенетического ствола, общего для нас с современными человекообразными обезьянами, примерно 6–7 млн лет назад. Для обозначения этой группы автор использует здесь английский термин *hominins*. Однако в отечественной научной и научно-популярной литературе термин *гоминиды* обычно используется для обозначения подсемейства приматов, включающего современного человека и его непосредственных предшественников, начиная с «ранних *Homo*», появившихся примерно 2,5 млн лет назад, – то есть двуногих приматов с большим головным мозгом. Для группы, включающей и более ранних родственников и предков человека, чаще используется термин *гоминиды*. (Также о различии терминов *hominid* и *hominin* в англоязычной литературе см.: <https://australianmuseum.net.au/hominid-and-hominin-what's-the-difference>.) – Прим. ред.

мия. Синтез эмбриологии, генетики и теории эволюции (известный как Evo-Devo²) поможет ответить на важные вопросы, связанные с эмбриональным развитием и эволюционной историей организмов. Нынешнее поколение эмбриологов, решительно отвергая биогенетический закон Геккеля – Мюллера, открывает более глубокие связи между онтогенезом и филогенезом, между эмбриологией и эволюцией.

Именно благодаря сходству человека с другими животными, которое проявляется в строении взрослых организмов, эмбриональном развитии, генетическом коде, мы теперь можем понять, где наше место на великом древе жизни – на *arbor naturae*. Мы – всего лишь побег на этом дереве, а не пик или конечная цель эволюции, ведь у эволюции нет конечной цели. Если вы внимательно присмотритесь к своей анатомии, то поймете, что наше тело отнюдь не является венцом творения, как вам, возможно, хотелось бы думать. Вы и я, все мы очень далеки от совершенства и скорее похожи на сшитое из кусочков лоскутное одеяло, которое, благодаря длящемуся миллионы лет поиску наилучших решений способом проб и ошибок, характерному для естественного отбора, становится все более совершенным. Именно благодаря этому процессу мы с вами живем на нашей Земле.

Эмбриология и эволюция объясняют, почему наше тело устроено именно так, а не иначе. Строение и функции взрослого организма являются результатом индивидуального эмбрионального развития и эволюционного прошлого. Все мы – от головы до пят – являемся живым воплощением этой истории.

² Evo-Devo (англ. *evolutionary developmental biology*) – концепция эволюционной биологии развития. – Прим. ред.

Голова и мозг

От возникновения головы у позвоночных животных до феноменального роста головного мозга у человека

Меня часто спрашивают, как я интересовался мозгом; я даю на это риторический ответ: «Как можно не заинтересоваться им?» Все, что мы называем «человеческой природой» и сознанием, возникает именно в нем.

Вилейяну С. Рамачандран

Первая голова

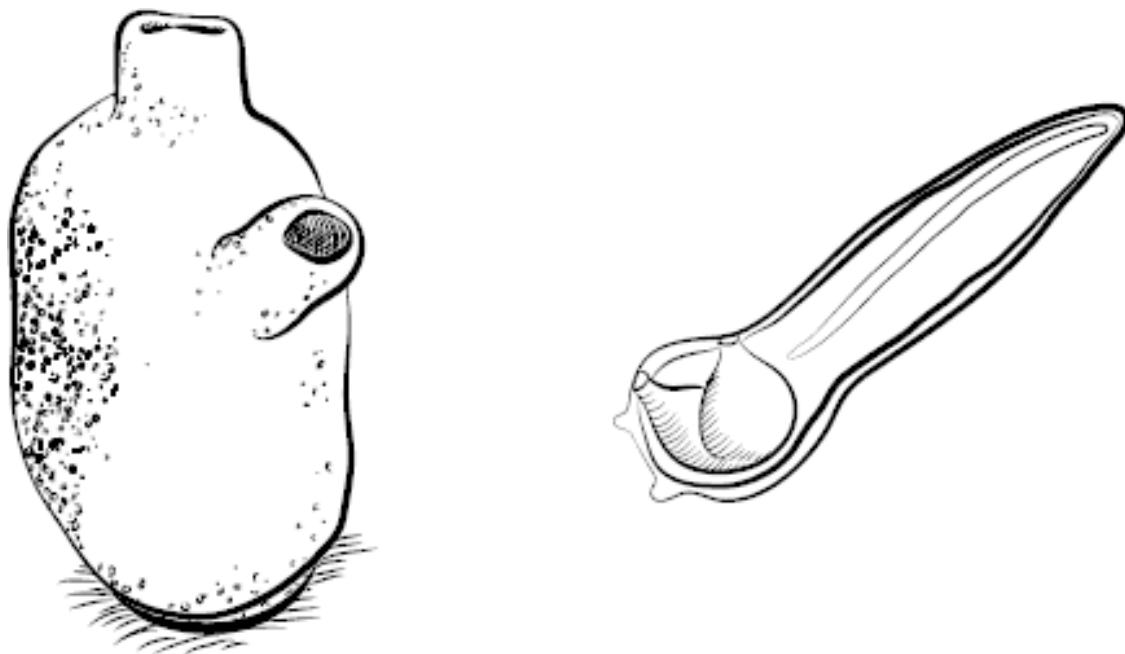
Возможно, этот вопрос покажется вам странным, но вы когда-нибудь задумывались, почему у нас есть голова? Очевидно, что это не исключительно человеческая принадлежность; большинство известных нам животных обладают головой. Действительно, наличие головы кажется неперенным условием существования позвоночных животных – рыб, земноводных, пресмыкающихся, птиц или млекопитающих. Головы есть и у многих беспозвоночных, но у некоторых видов головы нет. Чтобы ответить на вопрос «почему у нас есть голова?», будет для начала полезно узнать, когда у наших предков впервые появилась эта анатомическая особенность.

Я всегда думала, что на этот вопрос я получила исчерпывающий ответ на школьных уроках биологии. Там я узнала, что позвоночные произошли от более простых организмов, похожих на современных асцидий, достаточно близких родственников позвоночных животных. Возможно, где-то на свете существуют зоологи, очарованные асцидиями, но если сравнивать последних с позвоночными, то я не покривлю душой, если скажу, что асцидии слишком оседлы и, пожалуй, скучны. Эти почти неодушевленные существа прячутся на дне морском и ведут бесцельный образ жизни, прилипнув к подводным скалам, всасывают сифонами воду и, отфильтровывая ее, питаются взвешенным в ней планктоном.

Я свела довольно тесное знакомство с асцидиями, изучая их сравнительную анатомию, во время съемок фильма Би-би-си. Мы очень недалеко отплыли от берега небольшого, практически необитаемого островка Мнемба на востоке Занзибара; небо отливало неимоверной лазурью, а вода была невероятно прозрачной. Мы были снабжены масками, трубками и ластами, а также камерой для подводных съемок. Я нырнула с лодки в неправдоподобно, до смешного синее море и погрузила лицо в воду. Мне раньше никогда не приходилось плавать вблизи кораллового рифа, и то, что открылось моим глазам, заставило меня затаить дыхание. Я вынырнула и крикнула экипажу: «Там внизу *сотни* рыб!» Думаю, все остальные уже сталкивались с этим зрелищем, по крайней мере, они не спешили разделить мой восторг. Однако это не приглушило моего ощущения чуда.

Нырнув метра на четыре к подножию рифа, я принялась искать асцидий, и наконец нашла одну, и затем доставила ее на берег в ведре. Исследовав небольшое создание (размером со среднюю картофелину и немногим более интересное), я обнаружила в резиновом на ощупь теле два отверстия. Эти отверстия биологи деликатно именуют сифонами, хотя у других животных эти же отверстия именуют ртом и задним проходом. Между этими двумя отверстиями у асцидии протянута простая U-образная кишка. Асцидия засасывает морскую воду в ротовое отверстие (оральный сифон), и частицы планктона застревают в слизи, покрывающей стенку кишки, а остаток воды протекает дальше и изгоняется из тела через клоакальный (атриальный) сифон.

У асцидии нет органов чувств, таких, например, как глаза, но она способна ощущать воздействия внешнего мира с помощью неприметных, разбросанных по поверхности тела рецепторов, реагирующих на свет, прикосновение и различные химические вещества. Жизнь асцидии кажется невероятно скучной: в принципе, вся она представляет собой просто кишку. Асцидия не ползает, не плавает, не видит и не мыслит. Она просто сидит на месте, получая из морской воды питание, – этот процесс нельзя даже назвать «поеданием пищи».

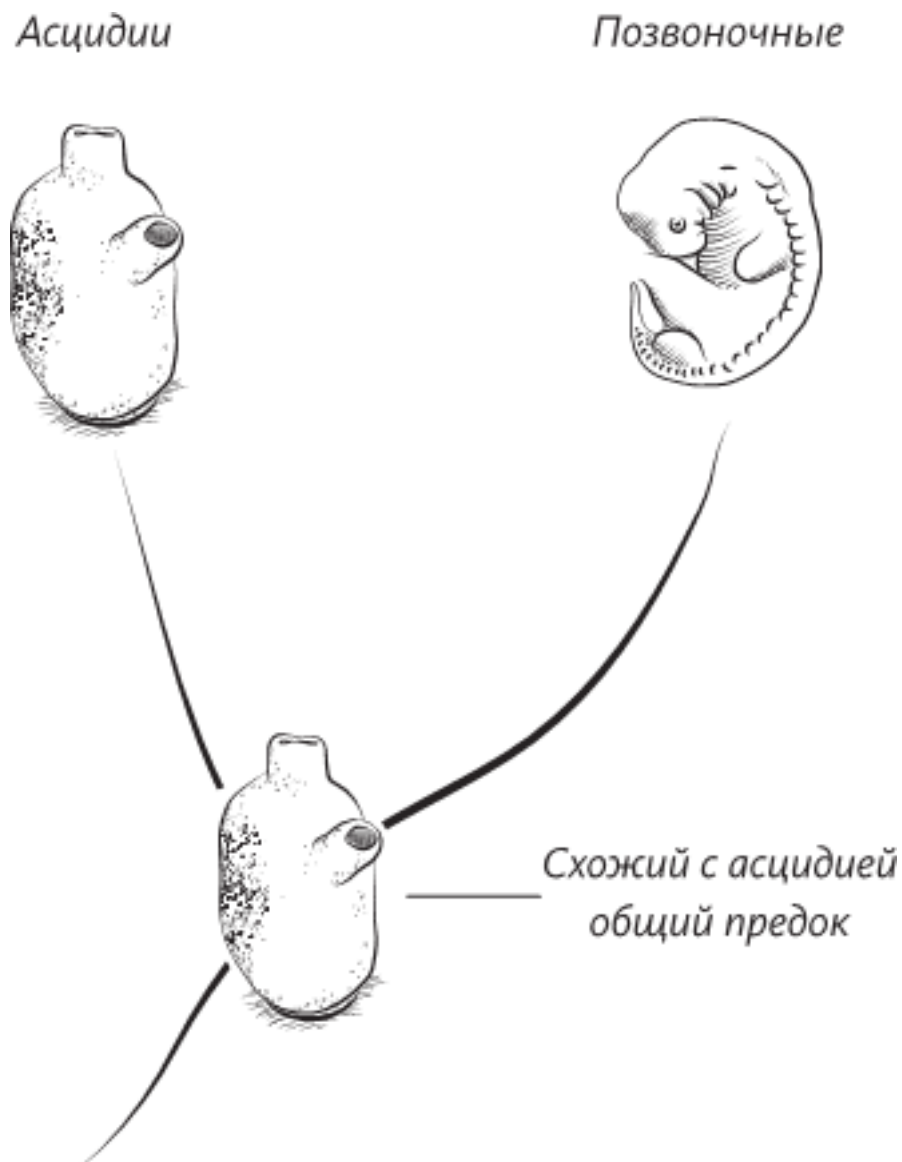


Взрослая асцидия (слева) и ее личиночная стадия (масштаб не соблюден)

Однако есть в жизни асцидии одна короткая стадия, когда это животное выглядит немного интереснее. На стадии личинки, внешне напоминающей головастика, асцидия *плавает*. В этот период своей жизни асцидия представляет собой крошечное создание, которое может плыть в любом направлении. У личинки есть и хвост, и голова, но очень скоро она утрачивает и то и другое. Когда личинка вырастает и прикрепляется к дну, а процесс роста продолжается всего три дня, она становится безголовой. В середине XIX века русский эмбриолог Александр Ковалевский (ученик Геккеля) заметил, что личинка асцидии обладает одной особенностью: в ее теле имеется укрепляющий тканевой стержень (называемый хордой), а в хвосте расположена нервная трубка. Эти структуры, как уже было известно к тому времени, существуют у эмбрионов позвоночных животных, и, несмотря на то что взрослая асцидия утрачивает хорду, особенности ее личинки свидетельствуют о том, что асцидия на самом деле является близким родственником позвоночных. Представляется, что Ковалевский открыл одну из биологических тайн: казалось, что, возможно, позвоночные развились вследствие неотении, от предка, похожего на асцидию, который, как Питер Пэн, забыл стать взрослым и не прикрепился к дну, а вместо этого так и остался на всю жизнь свободно плавающей личинкой. Эта история была изложена в учебниках, по которым я училась в 1980-х годах³.

³ По другой версии, из открытия А. Ковалевского идея неотенического происхождения позвоночных не следовала, и сам он этого не утверждал. Вот что по этому поводу писал Ч. Дарвин, высоко оценивший работы русского ученого: «Г-н Ковалевский наблюдал недавно, что личинки асцидий сходны с позвоночными по способу развития, по относительному положению нервной системы и по присутствию одного органа, совершенно сходного с *chorda dorsalis* позвоночных животных... Мы теперь имеем право думать, что в чрезвычайно отдаленный период времени существовала группа животных, сходных во многих отношениях с личинками теперешних асцидий, и что эта группа разделилась на две большие ветви, из которых одна регрессировала в развитии и образовала теперешний класс асцидий, другая же поднялась до венца и вершины животного царства,

Недавно проведенные исследования заставили усомниться в такой последовательности событий. В науке всегда существует такая профессиональная опасность: то, что сегодня представляется великолепной, основанной на неопровержимых фактах теорией, завтра может отправиться на свалку истории, если появляются новые факты, которые упрямо не желают вписываться в существующую парадигму. Итак, новые исследования позволяют предположить следующее: несмотря на то что асцидии действительно являются нашими родственниками, они все же не слишком хорошо подходят на роль предков позвоночных животных. Изучение ДНК асцидий и их морфологии (строения тела) показало, что эти животные в ходе эволюции на самом деле претерпели упрощение формы. Общим предком асцидий и позвоночных было не оседлое живое существо, подобное взрослой асцидии (эта форма возникла позже), но животное, которое свободно плавало в воде всю свою взрослую жизнь.



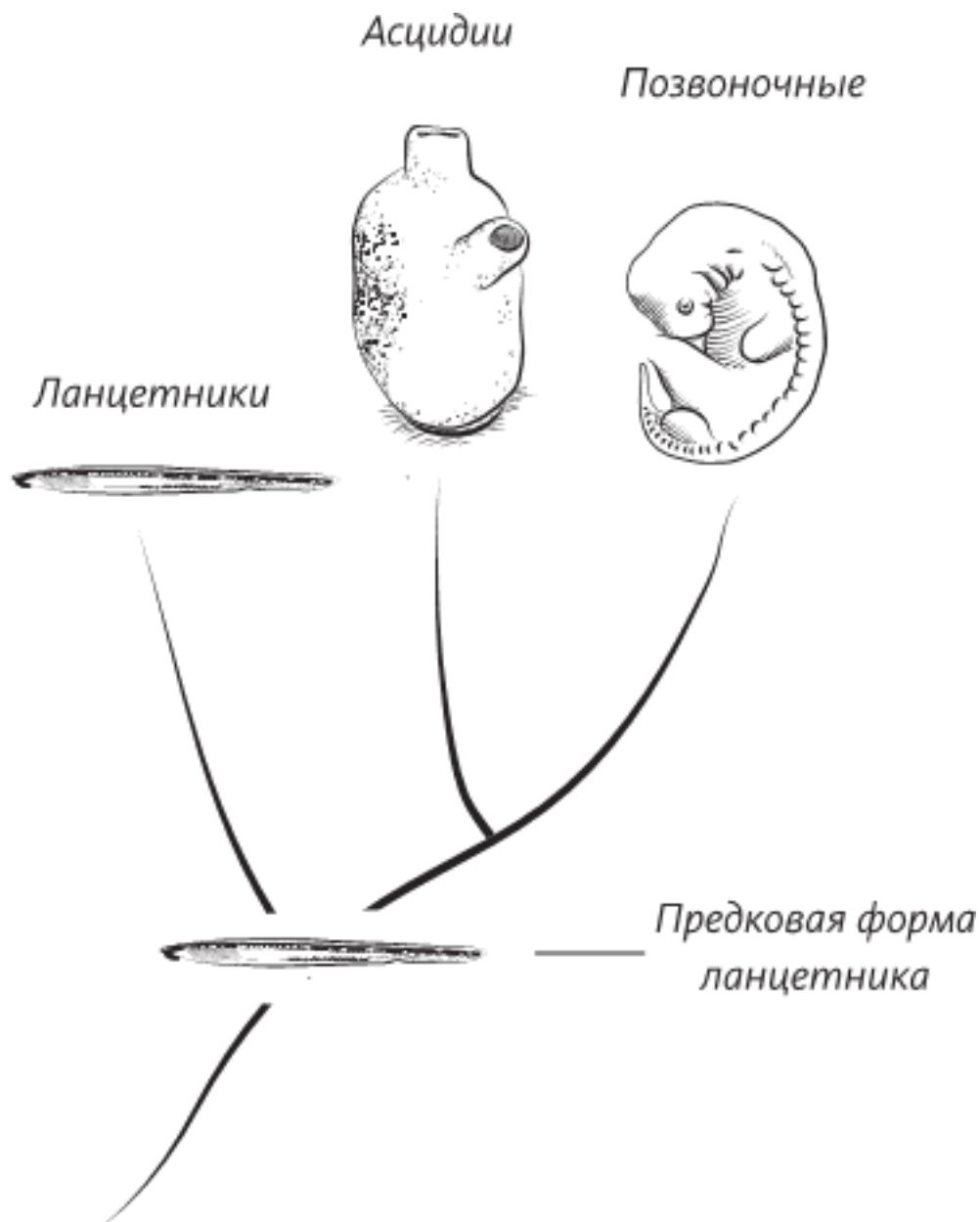
Филогенетическое древо (с самым ранним предком внизу), на котором показано, как позвоночные могли развиваться из предка, похожего на асцидию

дав начало позвоночным». Идея о том, что взрослая стадия нашего далекого предка была прикрепленной асцидией, принадлежит британскому зоологу Уолтеру Гарстангу (1868–1949) и была очень долгое время весьма популярной в Оксфорде, где ее активно продвигал профессор Алистер Харди (ему, кстати, принадлежит и «теория водной обезьяны»). Но данные ДНК подтвердили правильность выводов Ковалевского и Дарвина (1833). – Прим. ред.

Действительно, как оказалось, существуют животные, которые, состоя в близком родстве с позвоночными и асцидиями, всю жизнь способны свободно плавать: эти животные называются ланцетниками. Это маленькие существа, очень похожие внешне на рыб, но рыбами не являющиеся – у них нет позвоночника (и, кроме того, черепа). Ланцетниками их называют, потому что их тело заострено на концах, и по-гречески их называют «амфиоксами» – обоюдо-острыми. Все вместе, позвоночные, ланцетники и асцидии, образуют тип хордовых животных, потому что у всех них есть хорда. Есть у них еще несколько общих признаков, включая полую нервную трубку, жаберные щели и хвост. Здесь мы на минуту прервем наши рассуждения, так как вы, вероятно, подумали: «Секундочку! Я позвоночное, а значит, и хордовое животное. Но, простите, у меня нет жаберных щелей и хвоста! Кроме того, не думаю, что у меня есть полая нервная трубка или какая-то там хорда». Ключом к разрешению этой загадки является то обстоятельство, что для того, чтобы считаться хордовым, вам надо иметь все эти признаки хотя бы на какой-то одной из стадий вашей жизни, и в этом отношении и вы, и я, и все люди немного похожи на асцидий, у которых эти признаки есть на стадии личинки, а затем утрачиваются при переходе во взрослое состояние. Когда вы были эмбрионом, у вас (и это совершенно точно!) была хорда, своего рода протопозвоночник, как была полая нервная трубка, хвост и жаберные щели. Вы, несмотря ни на что, *хордовое* животное.

Выявление у людей признаков хордовых животных означает, что мы можем понять, в каких отношениях мы находимся со всеми остальными животными нашей планеты – как ныне живущими, так и вымершими. Хордовые – это всего лишь один из тридцати пяти типов, на которые подразделяется все царство животных. Отнесение позвоночных, асцидий и ланцетников к типу хордовых было предложено не кем иным, как Эрнстом Геккелем в 1874 году. Происхождение этого типа можно проследить до геологического периода, называемого кембрием. Кембрийский период начался 542 миллиона лет назад с так называемого кембрийского взрыва, когда в морях началось быстрое увеличение численности и многообразия многоклеточных животных. Несмотря на то что к настоящему времени обнаружены окаменелости, явно свидетельствующие о появлении многоклеточных мягкотелых организмов, возникших раньше, еще в докембрии, первые ископаемые остатки большинства существующих ныне типов многоклеточных животных относятся все же к кембрийскому периоду⁴.

⁴ Появление в палеонтологической летописи кембрия большого числа остатков многоклеточных животных может говорить как о неожиданном увеличении биоразнообразия, так и о появлении организмов с минерализованными тканями, которые в ископаемом состоянии сохраняются гораздо лучше, чем мягкотелые существа. Поэтому кембрийский взрыв также иногда называют взрывом скелетной фауны. – *Прим. ред.*

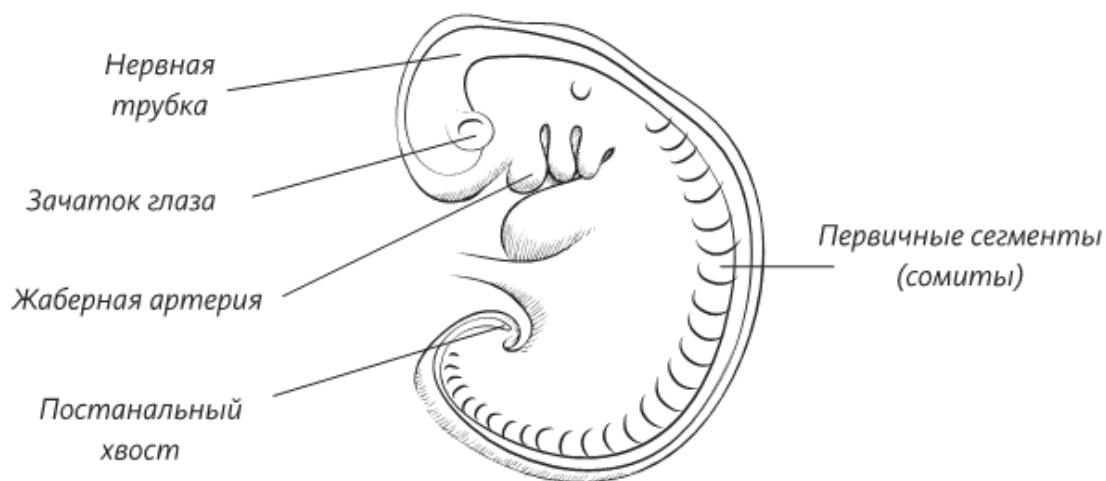
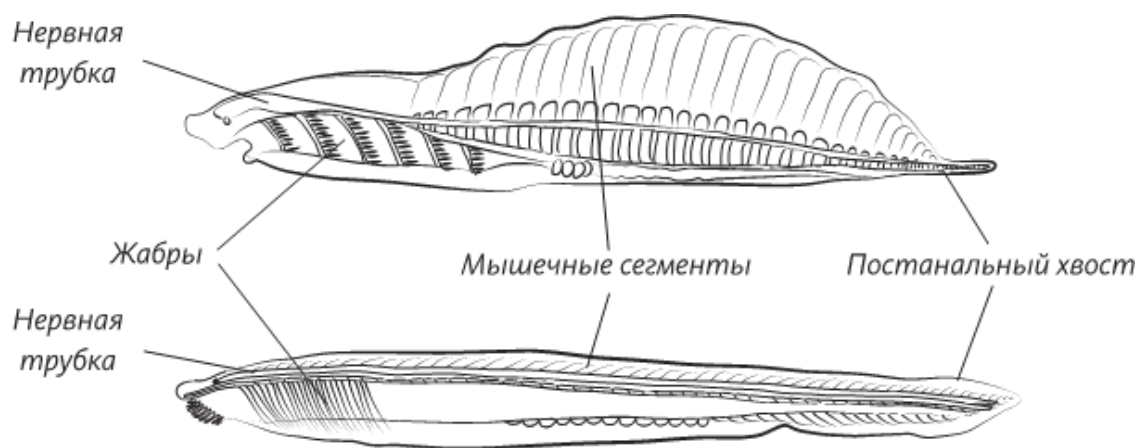


Генеалогическое дерево (самый ранний предок представлен внизу), показывающее эволюцию позвоночных и асцидий, происшедших от предковой формы ланцетника

В самом конце XX века палеонтологи, которые вели раскопки в древних скалах южно-китайской провинции Юньнань, обнаружили 300 превосходно сохранившихся окаменелостей крошечного, похожего на рыбку животного, которое получило название *хайкоуэлла* (*Haikouella*). Горные породы, как и сами окаменелости, датируются ранним кембрием – около 530 миллионов лет назад.

Итак, вообразите себе маленькое, похожее на рыбку существо длиной около 2,5 см, плавающее в придонных водах мелкого моря и периодически отдыхающее на дне. Представьте себе целую их стаю. Когда истощаются запасы растворенного в воде кислорода, эти существа погибают и погружаются на морское дно, и мелкий ил, приходящий в движение при малейшем волнении воды, постепенно погребает их крошечные тельца. Со временем мягкие ткани этих «недорыбок» подвергаются минерализации, то есть окаменевают, или фоссилизуются. Шелковистый ил морского дна затвердевает, превращаясь в мелкозернистые отложения и сохраняя все мельчайшие подробности анатомического строения животных.

Несмотря на то что эти создания не превышали в длину нескольких сантиметров, в этих окаменелых остатках прекрасно сохранилась структура мышц, проходящего вдоль тела стержня, называемого хордой, фестончатых дуг, поддерживавших жабры, и даже крошечного мозга. Ротовое отверстие окружено бахромой из двенадцати коротких щупальцев. У одного экземпляра можно видеть нечто весьма напоминающее глаз. Это очень странное создание, отчасти похожее на червя, а отчасти на рыбу. На самом деле это и не червь, и не рыба. Больше всего это существо похоже на ланцетника. Анатомическое строение ланцетника поразительно напоминает строение призрачных остатков, обнаруженных в китайских горных породах, имеющих возраст около 530 миллионов лет. Хайкоуэлла – самый древний из до сих пор обнаруженных представителей типа хордовых, причем, судя по всему, у этого животного была голова. В то время как ныне живущий ланцетник – это наш весьма отдаленный родственник, хайкоуэлла – или, по крайней мере, похожее на нее животное – была, возможно, тем древним предком, от которого произошли люди (вместе с остальными хордовыми). Все это означает, что голова (или то, что заменяло ее хордовым) уже существовала по меньшей мере 530 миллионов лет назад.

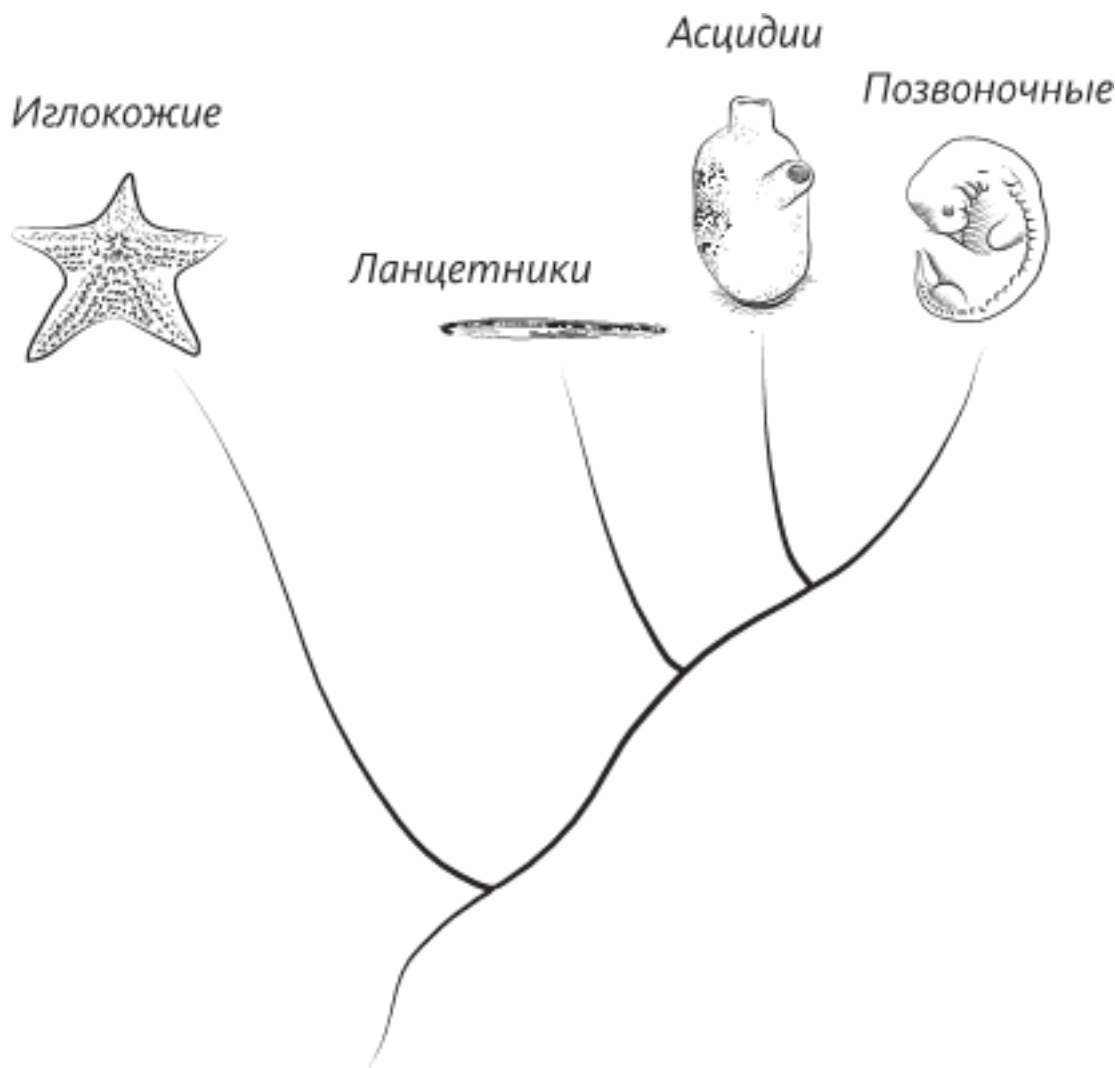


Признаки хордового животного, обнаруженные (сверху вниз): у хайкоуэллы, современного ланцетника и человеческого эмбриона в конце третьей недели внутриутробного развития

Для того чтобы выяснить происхождение свободно плавающих живых организмов (а способность к плаванию, возможно, связана с появлением головы), нам придется спуститься по ветвям древа жизни вниз, до самого его основания, и, возможно, заглянуть в еще более отдаленное прошлое. В этой тьме времен трудно найти верный ответ. Учебники очень осторожно

трактуют происхождение хордовых и позвоночных, и картина здесь значительно изменилась буквально за последнее десятилетие. У меня есть учебник биологии, вышедший в 2001 году, где сказано: «В этой главе мы обсудим вопрос происхождения позвоночных животных (от беспозвоночных)».

Из всех других групп ныне живущих организмов следует, помимо близкородственных нам хордовых, выделить иглокожих – тип, включающий в себя морских ежей, морских звезд, офиур, морских лилий и голотурий. Это довольно разнообразные организмы, но все они объединены планом строения, соответствующим пятилучевой симметрии. Трудно вообразить себе что-либо, менее похожее на человека, и даже на рыбу или ланцетника, чем морская звезда. Ричард Докинз зашел так далеко, что назвал этих существ «марсианами». Действительно, в сравнении с позвоночными иглокожие животные выглядят очень странно. Они необычны даже в сравнении с беспозвоночными, тела которых, как и наши, обладают билатеральной симметрией, в них можно различить передний и задний конец, а также правую и левую сторону – в противоположность радиальной симметрии морской звезды. Тем не менее есть один короткий момент, когда морская звезда напоминает хордовое животное, и этот момент можно наблюдать в эмбриональном периоде ее развития. Раннее эмбриональное развитие морской звезды похоже на эмбриональное развитие хордовых (включая и нас), а личинки морских звезд – так же как личинки асцидий – являются свободно плавающими организмами. В отличие от взрослых особей морских звезд их личинки обладают билатеральной симметрией, и у них есть головной конец и хвост. Это для нас и в самом деле более привычно. Так, может, предок хордовых больше похож не на личинку асцидии, которая «забыла вырасти», а на личинку современных иглокожих?



Наши «марсианские» родственники – генеалогическое дерево, на котором показано, что позвоночные могут оказаться близкими родственниками иглокожих

Самая большая проблема для зоологов, пытающихся решить эту головоломку, заключается в том, что существует огромная пропасть между хордовыми, с одной стороны, и иглокожими – с другой. Существует, правда, достаточно много анатомических, эмбриологических, а теперь и генетических данных, показывающих, что эти две группы являются достаточно близкими родственниками, но остается непонятным, как именно выглядел их общий предок. Был ли он больше похож на хордовое или на иглокожее животное? Произошли ли морские звезды от свободно плавающих предков или мы развились из оседлого организма, фильтровавшего через сифоны морскую воду; организма, личинки которого в один прекрасный день просто забыли вырасти? До недавнего времени эта идея о личинке (только на этот раз существа больше похожего на иглокожих, а не на асцидий), последовавшей примеру Питера Пэна, была весьма популярной среди британских ученых. Но здесь на выручку ученым пришла генетика, потому что даже если организмы внешне выглядят совершенно по-разному, то генетическое родство может показать, что у них тем не менее был общий предок.

В этой головоломке есть и еще один элемент: ветвь филогенетического древа, о которой я до сих пор специально не упоминала. Все эти иглокожие морские ежи, морские звезды и морские лилии имеют довольно близких родичей, которых называют «полухордовыми». Одним из подтипов полухордовых являются кишечножаберные, или кишечнодышащие, животные. Эти склонные к уединению, похожие на червей существа обитают в иле или под камнями морского

мелководья. Эти двухметровые существа отличаются смесью признаков, характерных для хордовых и для беспозвоночных животных. На переднем конце тела у кишечнодышащих есть хоботок, похожий на нос мультяшной ракеты. Весь этот «червяк», надо сказать, своей формой напоминает гигантский сперматозоид. (Я нарисовала их рядом для того, чтобы наглядно это продемонстрировать; правда, это чисто внешнее сходство.)

Через десять лет после того, как Эрнст Геккель открыл тип хордовых, в 1884 году, английский биолог Уильям Бейтсон (который знаменит тем, что придумал термин «генетика») добавил в этот тип и кишечножаберных животных. Основанием для такого решения послужило то, что Бейтсон, как ему показалось, обнаружил у кишечножаберных определенные признаки хордовых животных. У этих странных созданий (кишечножаберных) было множество жаберных щелей, как у ланцетника, а вдоль спины тянулся нервный тяж, и казалось, что в некоторых местах он полый. Бейтсон также считал, что хордоподобный орган (нотохорд), являющийся выростом кишечника и поддерживающий хоботок этих животных, представляет собой зачаток хорды. Позднее биологи поставили эти утверждения под сомнение, и в 1940-х годах кишечнодышащие были исключены из типа хордовых. Сами животные пребывали в счастливом неведении о своем разжаловании. Они продолжали как ни в чем не бывало копать в придонном иле и занимались прочими своими делами. Люди, казалось, потеряли к ним всякий интерес.

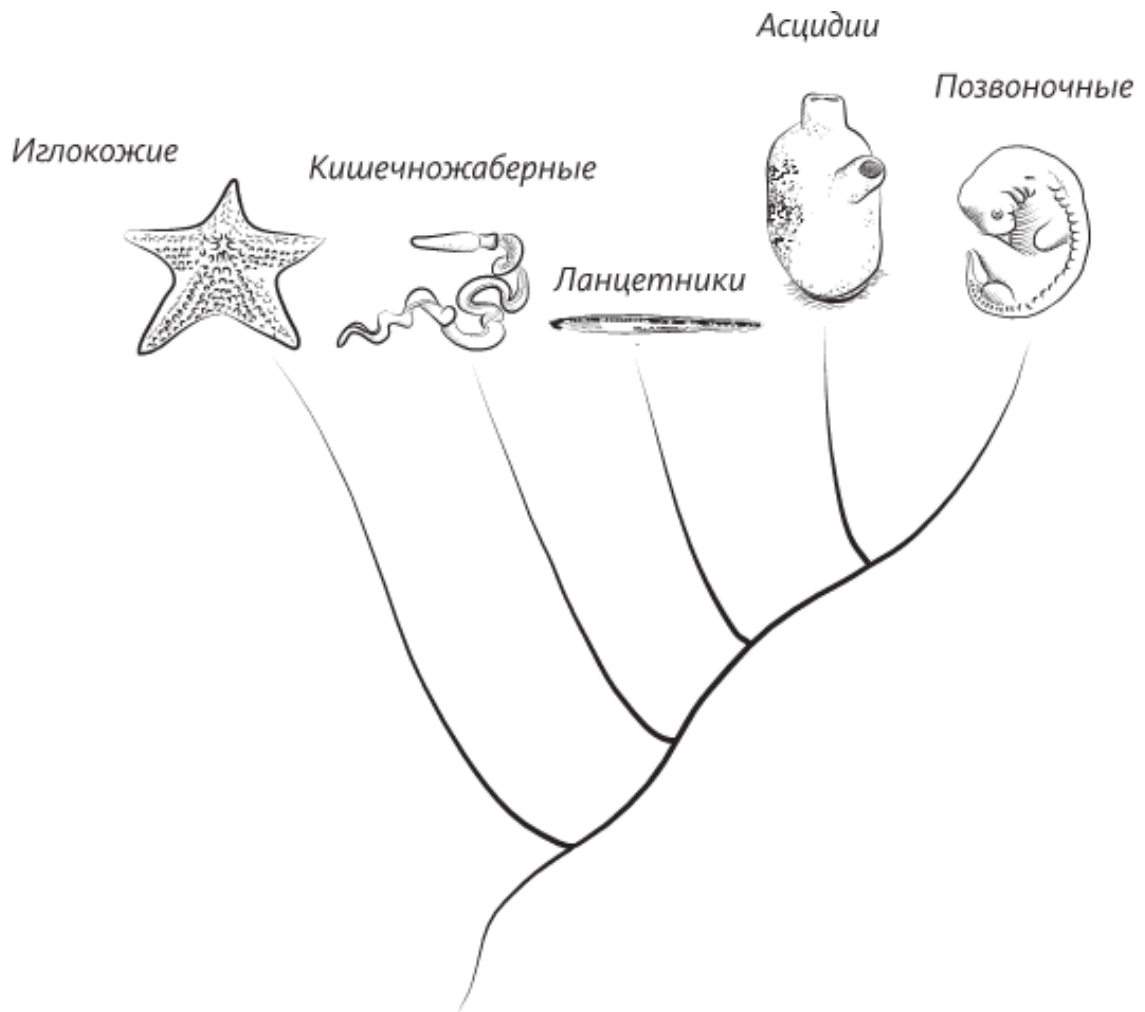


Кишечножаберное животное (слева) и человеческий сперматозоид (справа, масштаб не соблюден)

Однако в последние два десятилетия кишечнодышащие снова оказались в тренде. Современная наука, название которой дал Бейтсон, раскрыла тайны ДНК кишечнодышащих. Действительно, эти животные не относятся к хордовым, но, как наши очень дальние родственники, они оказались даже более полезными для нас, так как в их ДНК содержится ключ к разгадке происхождения нашего типа.

Положение кишечнодышащих на древе жизни стало понятным после того, как была секвенирована их ДНК: оказалось, что кишечнодышащие близкородственны иглокожим. Рассматривая разницу в последовательности «букв» (четырёх азотистых оснований – нуклеотидов), составляющих ДНК этих существ, биологи смогли доказать родство между различными группами животных и нарисовать филогенетические деревья, являющиеся частью великого единого эволюционного древа жизни. Разница в последовательности нуклеотидов в ДНК отражает реальные эволюционные отношения между разными видами животных. Например, позвоночные генетически больше схожи с асцидиями, чем оба этих типа с кишечнодышащими, потому что позвоночные и асцидии имеют более недавнего общего предка. Сравнение ДНК разных животных может показаться чем-то совершенно новым в науке, но, несмотря на всю революционность, это на самом деле всего лишь расширение тех методов, которые эволюционная биология использовала с момента своего возникновения – сравнение и противопоставление признаков различных животных. Просто вместо частей тела теперь сравнивают гены и последовательности пар нуклеотидов в цепях ДНК. Это всего лишь сравнительная молекулярная анатомия.

Последовательность нуклеотидов в ДНК помогает нам строить филогенетические деревья, но генетика, помимо этого, может пролить свет на вопрос о том, является ли какая-либо анатомическая структура одного животного эквивалентом (гомологом) – такой же структуры другого животного. Гомология существует у животных разных видов, если у этих животных были общие предки. Дарвин, например, признавал, что человеческая кисть, крыло летучей мыши и плавник дельфина являются гомологичными анатомическими структурами, так как все они были унаследованы от общего предка. Иногда, правда, гомологию заметить трудно, и лучшим способом проверки гомологичности тех или иных структур становится выяснение того, какие гены «включаются» (или на научном жаргоне – экспрессируются), когда в эмбриональном периоде формируются зачатки интересующих нас органов.



Филогенетическое дерево (самый ранний предок изображен внизу), показывающее, насколько кишечножаберные близки к хордовым – ближайшим предком животных обоих типов был, вероятно, червь

Сходные наборы генов активизируются в процессе формирования внутренней поверхности развивающихся жаберных щелей у хордовых и у кишечножаберных: следовательно, жаберные щели у животных этих разных типов являются гомологичными. Однако при формировании нотохорды у хордовых и той структуры, которую Бейтсон посчитал гомологом хорды у кишечнодышащих, экспрессируются разные гены, а значит, и сами органы не являются гомологичными. Выяснилось также, что Бейтсон ошибся, посчитав, что у кишечнодышащих есть полая нервная трубка; вместо нее у представителей этого типа животного царства есть диф-

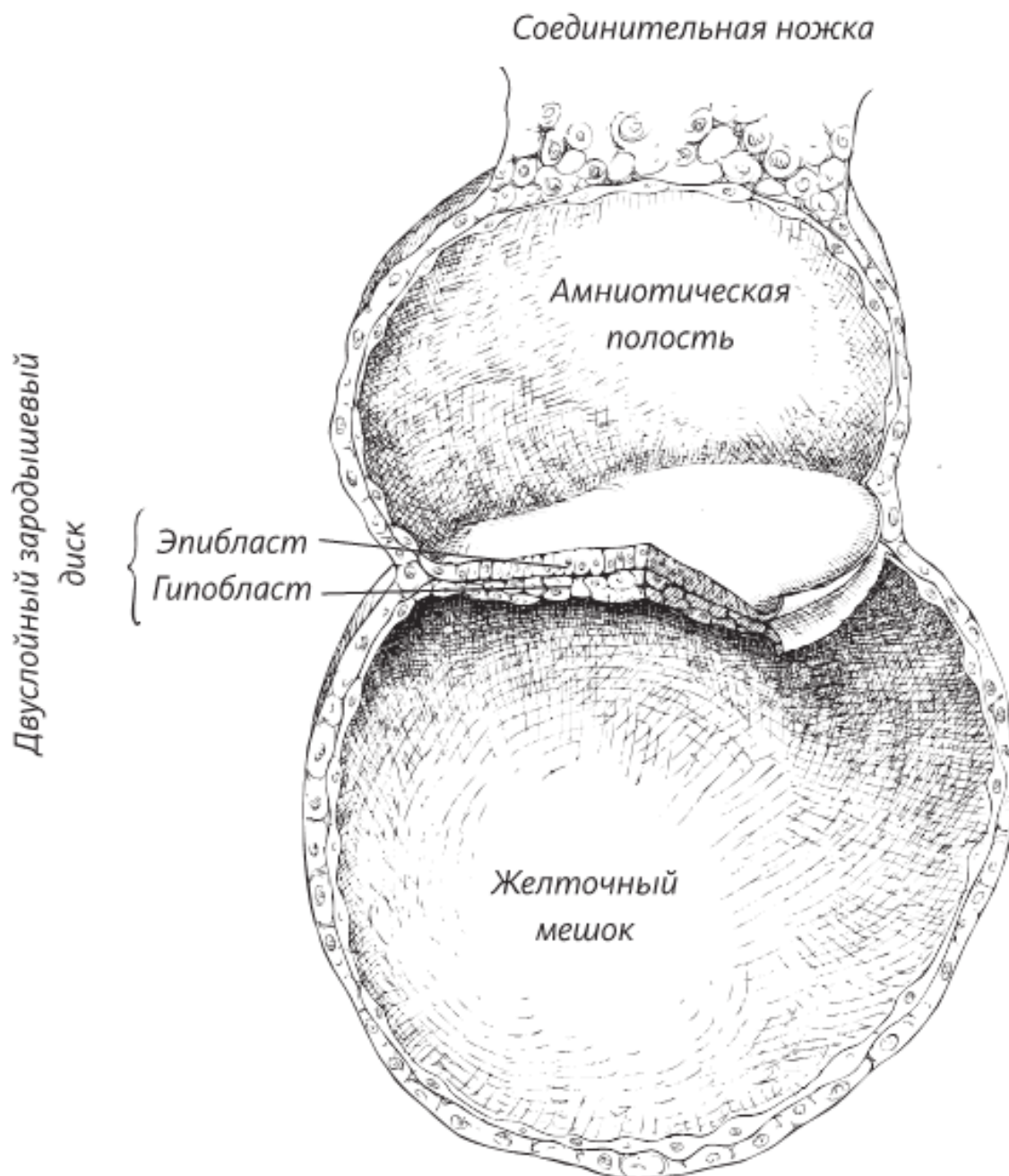
фузная «нервная сеть», расположенная непосредственно под наружными покровами тела. За полую нервную трубку Бейтсон принял очень небольшую часть этой нервной сети.

Сложив все элементы этой головоломки, все данные сравнительной анатомии, эмбриологии, генетики и палеонтологии, мы можем, пожалуй, утверждать, что у нас есть ответ на вопрос о том, когда и почему у наших предков впервые появилась голова. Хоботок нашего дальнего родственника, кишечнодышащего животного, за которым расположен настоящий рот, едва ли можно назвать полноценной головой, но представляется, что хордовые (и иглокожие), вероятно, произошли от умеющих плавать «червей», а не от подвижных личинок, превращающихся в неподвижные взрослые существа. (Интересно, что, согласно такой гипотезе, радиальная симметрия морской звезды возникла позже – то есть морские звезды произошли от предков, обладавших билатеральной симметрией так же, как и мы; но мы остались с этой «примитивной» билатеральной симметрией, а морские звезды получили новый, умопомрачительный дизайн.) Развитие головы шло у наших древних предков параллельно с развитием умения плавать. Подвижность не предполагает обязательного наличия головы, так как мы видим, что морские ежи и морские звезды нормально перемещаются в пространстве и без нее. (В сериале Би-би-си «Жизнь» есть впечатляющие кадры, демонстрирующие движения морской звезды; эти кадры и сейчас можно посмотреть на YouTube.) Морские звезды – это прекрасно видно при замедленной съемке – могут плыть в любом направлении. Но сможете ли вы, глядя на плывущую морскую звезду, определить, где у нее передний конец? Ключевой вопрос «Нужна ли этому животному голова?» можно перефразировать так: «Есть ли у этого животного передний конец?» Чем быстрее движется живое существо, тем с большей вероятностью его передний конец станет похож на голову. Активно плавающему животному это поможет сконцентрировать органы чувств в переднем конце – в голове, которая первой будет встречаться со всем новым в окружающей среде. Конечно, это поможет животному обрести и мозг – для того, чтобы обрабатывать всю информацию, поступающую из расположенных в голове органов чувств.

Древний и эмбриональный мозг

В окаменелостях, обнаруженных в провинции Юньнань, возраст которых оценивается в 530 миллионов лет, мы видим самые ранние признаки хордовых животных, самые ранние признаки настоящей головы и самые ранние признаки наличия головного мозга. Как любое уважающее себя хордовое животное, хайкоуэлла обладает полый нервной трубкой, а передний конец этой трубки слегка утолщен и подразделяется на три сегмента. Собственно, смотреть здесь почти не на что, но возможно, что этот слегка утолщенный конец нервной трубки хайкоуэллы и является ее головным мозгом. Удивительно, но и наш мозг – каким бы сложным и развитым он ни был – начинает развиваться точно с такой же утолщенной эмбриональной нервной трубки.

Ранее в этой книге мы оставили человека на стадии развивающегося эмбриона, имплантированного в стенку матки. Внутренняя клеточная масса морулы, похожей на тутовую ягоду, превращается в плоский двухслойный диск, зажатый между желточным мешком и новообразованной амниотической полостью. Верхний листок этого диска называют эпибластом, а нижний – гипобластом, или энтодермой.

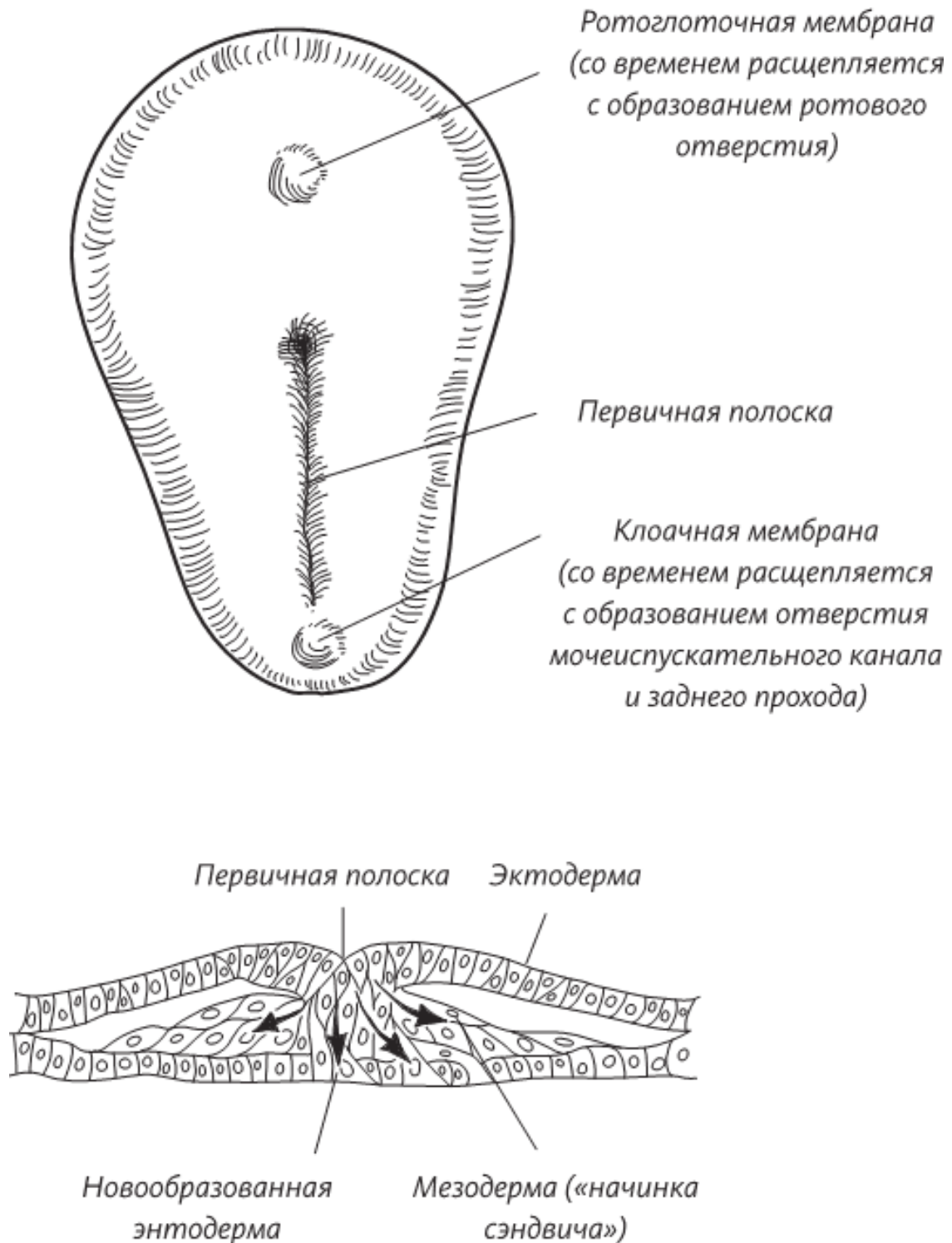


На второй неделе внутриутробного развития эмбрион представляет собой двухслойный диск, зажатый между амниотической полостью и желточным мешком (образующимся из полости бластоцисты)

Теперь, в начале третьей недели внутриутробного эмбрионального развития, в зародыше начинают происходить весьма интересные события. Поставим внетелесный, мысленный эксперимент. Представьте себе, что эмбрион увеличился в несколько сотен раз, а вы плаваете в амниотической полости и смотрите на поверхность эпибласта, который, правда, больше похож на раздавленную грушу, нежели на диск правильной формы. (Помните, что странный плоский объект – это вы через две недели после зачатия.) Эта уплощенная грушевидная структура уже имеет передний конец (это ее расширенная часть) и задний конец, а также левую и правую стороны. Одновременно на поверхности эпибласта начинает происходить нечто странное: в середине его диска образуется бороздка, похожая на геологическую складку на поверхности земли. Размножающиеся клетки эпибласта смещаются к этой бороздке, а затем словно проваливаются

в нее, как в пропасть. Попутно эти клетки оттесняют клетки гипобласта и на их месте образуют новый клеточный слой. Этот слой занимает промежуточное положение между исходными двумя – эпибластом и гипобластом.

Результатом всех этих перемещений, переселений и делений и становится превращение двух слоев зародыша в три: эктодерму, мезодерму и энтодерму. Теперь зародыш становится трехслойным, то есть состоит из трех зародышевых листков. Клетки каждого слоя имеют свою, предначертанную генетической программой судьбу. Энтодерма превратится в выстилку кишечника, легких и мочевого пузыря. Мезодерма превратится в кости, мышцы и кровеносные сосуды. Из эктодермы образуется внешний покров кожи и нервы. Здесь мы видим еще одну грань эмбрионального развития человека, которая связывает нас с нашими отдаленными родственниками, словно эхо нашей древней эволюционной истории. Вы помните эпидермальную нервную сеть кишечнодышащих?



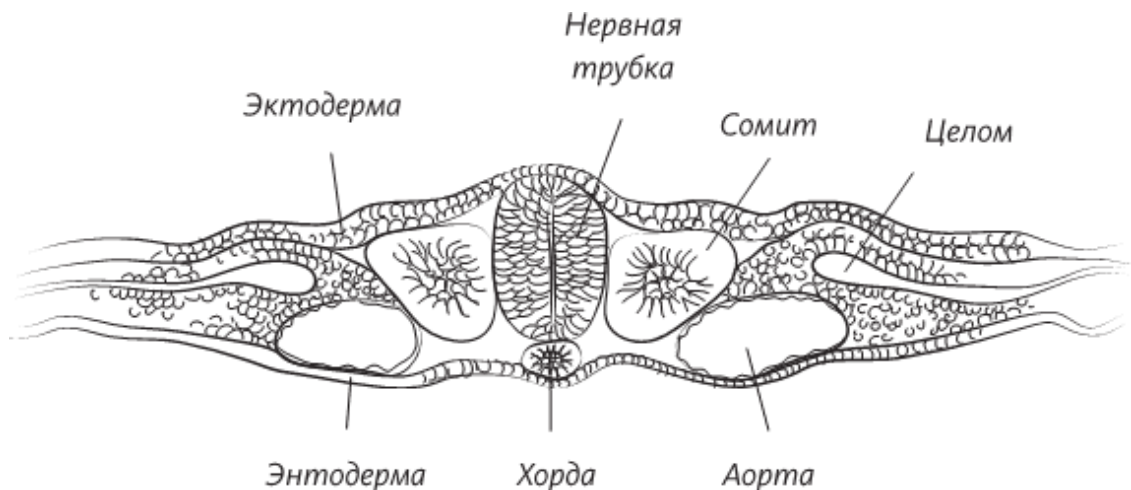
Поверхность эпибласта, на которой видна первичная полоска (вверху) и поперечный разрез через первичную полоску (внизу), демонстрирующий клетки, мигрирующие внутрь зародышевого диска, где они формируют мезодерму и энтодерму

Этот процесс формирования трех слоев из двух называется «гастроуляцией», потому что у более примитивно устроенных животных – например, у ланцетника – в ходе этого процесса образуется первичная кишка. Гастроуляция – весьма важное событие, она закладывает фундамент для построения сложного человеческого организма. Гастроуляция, кроме того, знаменует фундаментальное разделение животного царства, в ходе которого произошло выделение предковых форм, возникших в еще более глубокой древности, куда мы с вами пока не загля-

дывали, – около 600 миллионов лет назад. У одной группы животных произошла гастрюляция, сопровождавшаяся образованием новых зародышевых листков, и в то же время возникло отверстие, которому будет суждено стать ртом. Эти животные получили название первичноротых (*protostomata*). Первичноротые – это огромная группа, к которой относятся членистоногие (крупный таксон, куда включены насекомые, ракообразные и паукообразные), моллюски и некоторые типы червей. В другой группе животных, вторичноротых (*deuterostomata*), рот развивается позже в виде самостоятельного отверстия. В сравнении с первичноротыми вторичноротые – сравнительно малочисленная группа, куда входят животные нашего типа – хордовые, вместе с кишечножаберными и иглокожими.

У хордовых, в том числе и у нас с вами, гастрюляция – это момент, когда появляются наши определяющие признаки. По мере формирования среднего слоя (мезодермы) часть его утолщается и формирует стержень, тянущийся вдоль продольной оси эмбриона. Этот стержень и есть хорда (от греческого слова, означающего «струна»). Наличие хорды необходимо для образования еще одного признака хордовых – нервной трубки. Дело выглядит так, словно хорда приказывает лежащей над ней эктодерме изменить свойства. Собственно, так и происходит в действительности, только хорда передает свой приказ не словами, а определенными химическими соединениями. В ДНК содержатся инструкции построения эмбриона, и происходит это следующим образом: когда в клетках включаются определенные гены, эти клетки начинают продуцировать сигнальные белки, которые и сообщают другим клеткам, что им надлежит делать дальше.

В данном случае после того, как химические сигналы, порожденные в клетках хорды, начинают воздействовать на эктодерму, последняя начинает утолщаться. Очень скоро над поверхностью эктодермы, в области хорды, начинает горделиво возвышаться гребень. Затем на поверхности гребня, по его средней линии, возникает впадина, а затем продолговатая бороздка, обрамленная с боков двумя валиками. Эти валики начинают загибаться внутрь и в конце концов встречаются на средней линии тела эмбриона. Бороздка замыкается и превращается в трубку.



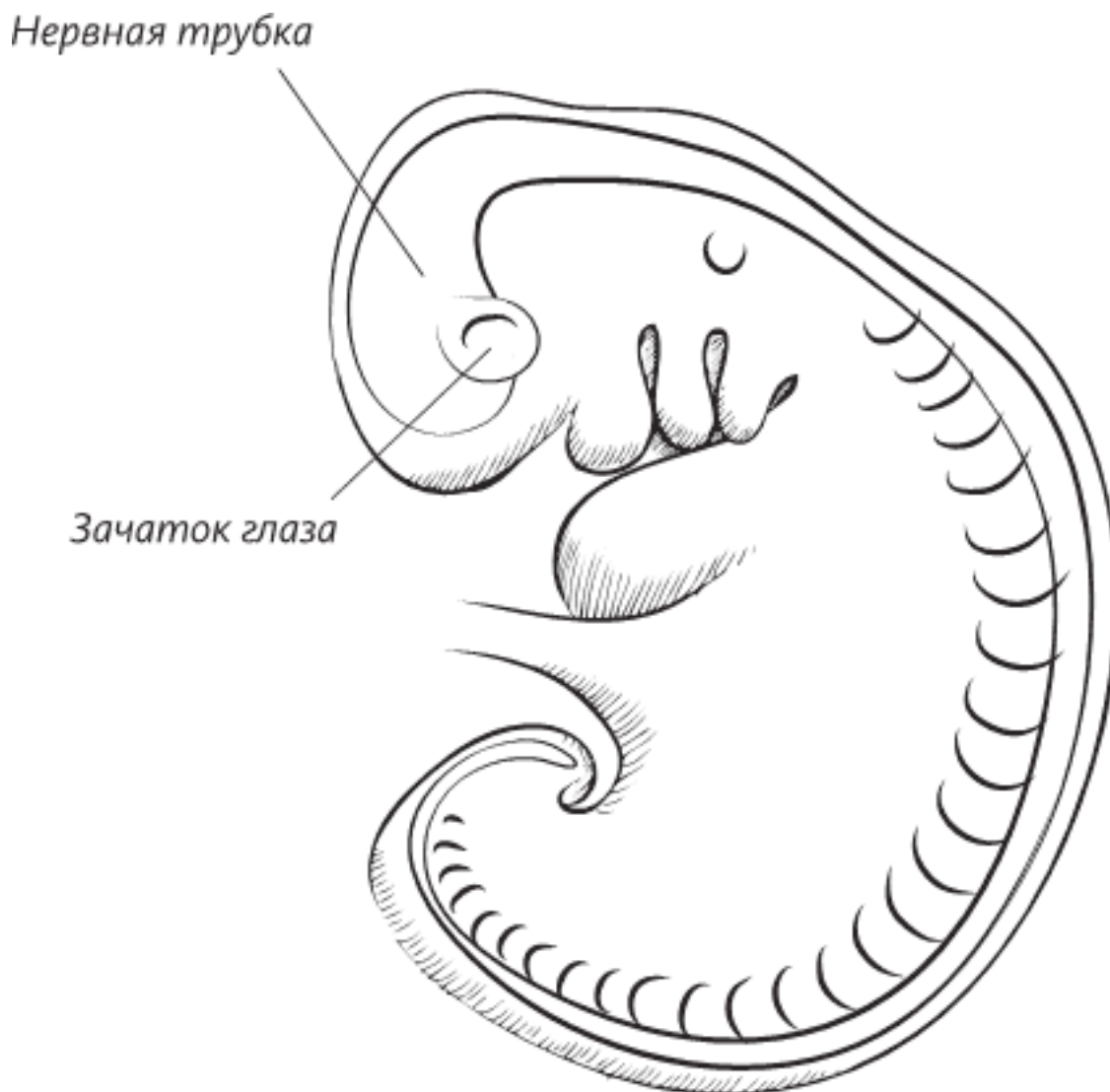
Поперечный разрез человеческого эмбриона в конце третьей недели внутриутробного развития. Эмбрион все еще представляет собой плоский диск, но нервная трубка уже сформирована, а мезодерма по обе стороны от нервной трубки уже образует утолщения, называемые сомитами. Уже сформированы кровеносные сосуды – по одной аорте с каждой стороны тела. Целом – это предшественник полостей тела ребенка: выстланных мезодермальными клетками мешков, одевающих легкие, сердце и кишечник

В 1960-х годах эмбриологи уже предсказывали, что образование таких структур, как нервная трубка, – а на самом деле и все эмбриональное развитие, – должно зависеть от существования сигнальных белков. Но только в 1990-х были открыты как молекулы этих белков, так и кодирующие их гены. В норме клетки верхней (дорсальной) части нервной трубки становятся чувствительными (сенсорными) нейронами, а клетки нижней (вентральной) части становятся двигательными нейронами (мотонейронами). Такое строение характерно и для зрелого спинного мозга, в котором чувствительные нейроны (передающие информацию в мозг) группируются в задней его части, а двигательные нейроны (передающие сигналы к мышцам) группируются ближе к передней части спинного мозга. Опыты на куриных эмбрионах показали, что если удалить хорду, то вентральные двигательные нейроны не развиваются. Ученые предположили, что хорда вырабатывает химический сигнал, который по-разному действует на клетки по ходу концентрационного градиента. В конечном счете были обнаружены сигнальные белки и кодирующий их ген. Белок этот получил название SHH (Sonic Hedgehog) – «еж Соник», в честь чудесного синего героя популярной компьютерной игры.

Несмотря на то что человек обладает хордой очень недолго в процессе эмбрионального развития, а затем на ее месте образуется куда более солидная структура – позвоночник (о котором речь пойдет несколько позже), она играет очень важную роль, ибо без нее у нас не развились бы ни спинной, ни головной мозг. Вспомним о лесах, которые возводят при строительстве здания. После окончания стройки леса убирают, но они очень важны, так как без них невозможно обойтись при возведении и отделке стен. Подобным же образом хорда очень важна для развития нервной трубки.

Замыкание трубки происходит неравномерно по ее длине. Сначала бороздка замыкается в трубку в середине зародышевого диска – этот регион соответствует будущей шее эмбриона. Затем щель трубки, как застежка-молния, начинает закрываться в обоих направлениях. На четвертой неделе внутриутробного развития происходит полное замыкание нервной трубки. Она становится слепой. Эта продолговатая полость является основой формирования центральной нервной системы – головного и спинного мозга.

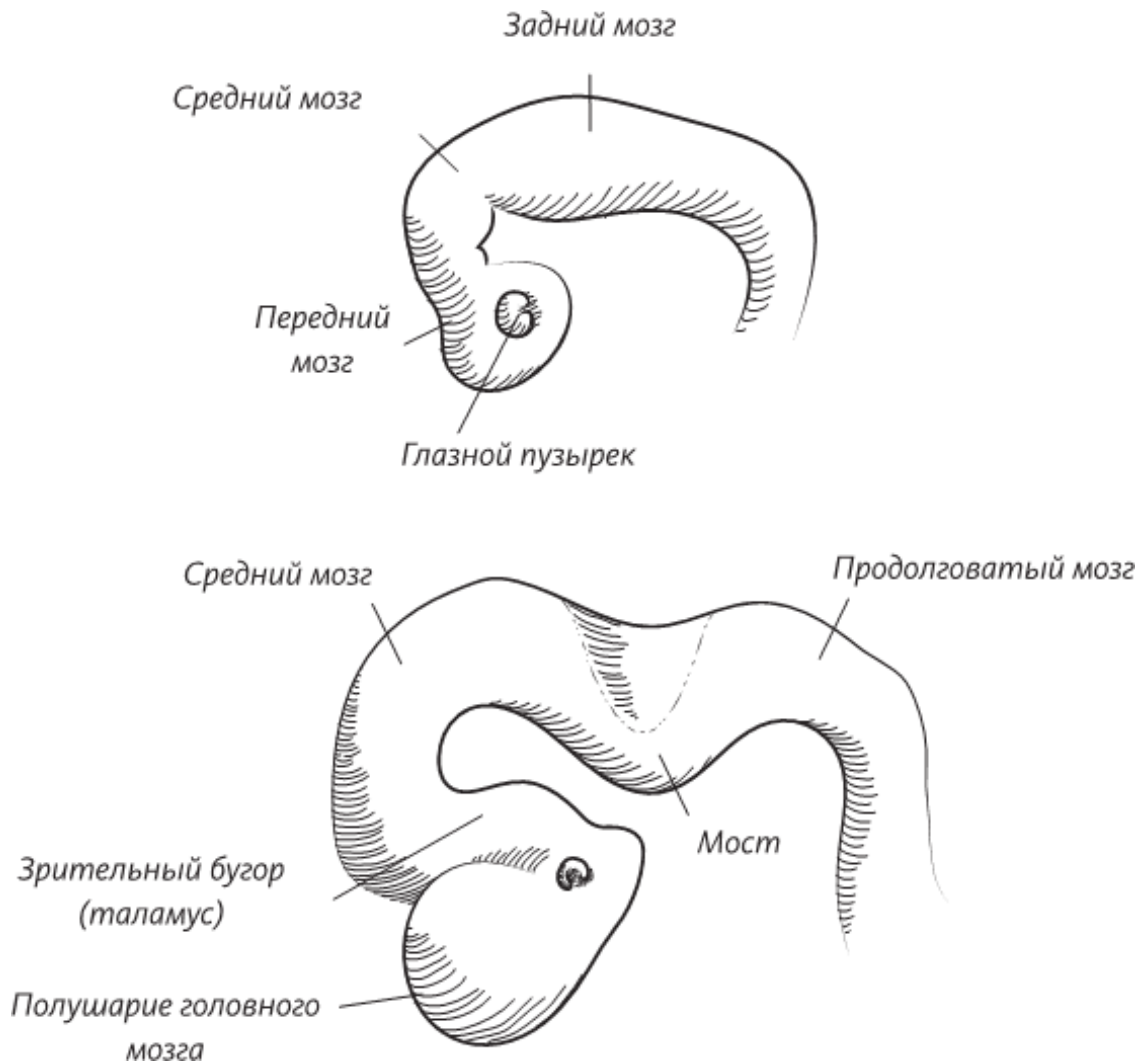
Если валики нервной бороздки не срастаются в трубку, то в результате возникает «дефект нервной трубки». В Британии такими дефектами страдают восемь из десяти тысяч родившихся младенцев. Диапазон и последствия таких поражений очень велики. Если трубка не срастается в передней части, то не образуется головной мозг, и у плода возникает состояние, называемое анэнцефалией (в переводе с греческого «анэнцефал» значит «безголовый»). Такие дети умирают вскоре после рождения. Эти серьезные дефекты, как правило, обнаруживаются в пренатальном периоде на ультразвуковом исследовании. Если же нервная трубка не замыкается в других участках, то возникает состояние, называемое расщеплением позвоночника. Это может оказаться серьезным дефектом, сопровождающимся параличом нижних конечностей, но, в случаях небольших поражений, может протекать и бессимптомно.



На четвертой неделе внутриутробного развития нервная трубка замыкается на головном и хвостовом конце, и эмбрион перестает походить на плоский диск: боковые стороны диска загибаются внутрь и срастаются по средней линии. Теперь наружная поверхность эмбриона представлена исключительно эктодермой

На четвертой неделе внутриутробного развития новообразованная нервная трубка, слегка расширенная на переднем конце, разительно напоминает нервную трубку примитивного хордового животного, такого, как ныне живущие ланцетники или древние вымершие хайкоуэллы. Человеческому мозгу предстоит еще долгий путь дальнейшего развития, а мозг ланцетника у взрослого животного представляет собой именно легкое расширение на переднем конце нервной трубки и едва ли превосходит сложностью спинной мозг. У позвоночных, включая и нас, более сложный мозг начинает формироваться уже в эмбриональном периоде; передний конец слепо заканчивающейся нервной трубки расширяется, образуя три соединенных между собой пузыря, из которых развиваются передний мозг, средний мозг и задний мозг соответственно. Развитие заднего мозга контролируется генами семейства *Нох*, определяющими план строения тела у многоклеточных. Эти гены имеют очень древнее происхождение – варианты этого гена присутствуют у плодовой мушки, а наш общий с ней предок жил около 800 миллионов лет назад. Области переднего и среднего мозга формируются под влиянием более молодых генов, которые возникли после эволюционного расхождения первично- и вторичноротых, но перед возникновением хордовых животных.

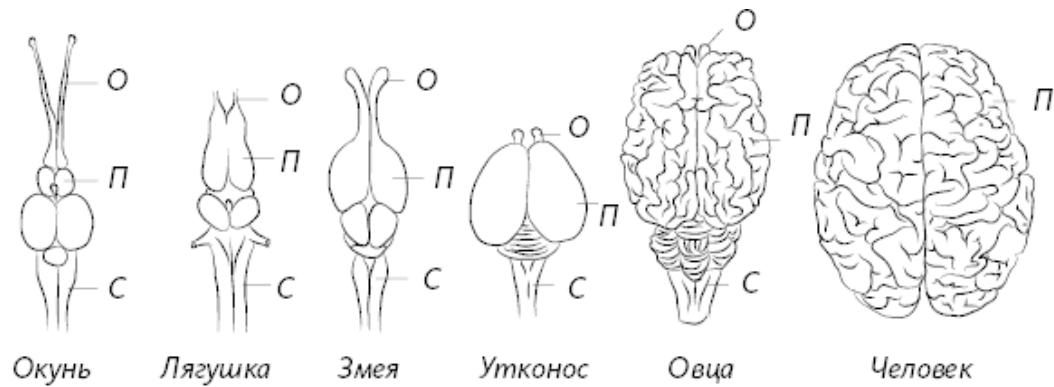
По мере того как передний мозг продолжает расширяться, он подразделяется на две доли, из которых в дальнейшем образуются два полушария, или, проще говоря, «большой мозг». Непосредственно позади этих долей находится пара пузырьков, которым суждено превратиться в глаза, растущие из боковых участков переднего мозга. У многих позвоночных ранние структуры головного мозга, обнаруживаемые во внутриутробном периоде, легко распознаются и во взрослом мозге. На первый взгляд может показаться, что это не касается человеческого мозга, но такое впечатление складывается только из-за того, что у нас непомерно раздуваются полушария большого мозга, которые просто погребают под собой весь остальной мозг, но если заглянуть под полушария или вскрыть их, то можно легко разглядеть структуры, возникшие из эмбриональных пузырей. Развивающийся эмбриональный мозг человека очень похож на мозг акулы, но это лишь кажущееся сходство. Человеческий мозг устроен намного сложнее, чем мозг рыбы. Мы относимся к той линии животных, у которых произошел качественный рост полушарий мозга. У млекопитающих относительные размеры полушарий больше, чем у пресмыкающихся. Плацентарные млекопитающие (к которым относимся и мы с вами, вместе с большинством млекопитающих) имеют большие по размеру полушария, чем такие млекопитающие, как, например, утконос. У приматов полушария больше, чем у всех остальных млекопитающих, а у человека это увеличение достигло крайней степени.



Развитие головного мозга эмбриона в конце четвертой недели внутриутробного развития (вверху) и на шестой неделе (внизу), когда передний мозг развивается в два полушария и зрительный бугор (таламус), а задний мозг образует мост и продолговатый мозг

У рыб ствол мозга (средний и задний мозг) является самой крупной частью головного мозга. Передний мозг мал, при том что в нем сильнее других развиты обонятельные области. Мозг немного увеличивается у амфибий – в сравнении с рыбами: им приходится обрабатывать больше поступающей извне сенсорной информации, а также управлять более сложной мускулатурой конечностей. Полушария становятся еще больше у рептилий и птиц. Они начинают сильно выступать в стороны и покрывают расположенный под ними зрительный бугор (таламус). Большой мозг млекопитающих – в особенности плацентарных млекопитающих – становится умопомрачительно крупным. В дополнение к увеличению размеров в мозге млекопитающих происходит еще одно важное изменение: рост нового слоя мозговой ткани – «новой коры», или неокортекса. У млекопитающих неокортекс вырастает таким большим, что покрывает собой все более древние отделы головного мозга. Приходится приложить усилия, чтобы обнаружить древнюю кору, но найти ее можно, потому что она на самом деле никуда не делась. Древняя кора осталась, хотя новые отделы мозга оттеснили ее к его нижней поверхности, к внутреннему краю височной доли. Это обонятельная кора, которая обрабатывает самое древнее чувство – ощущение запаха, а также гиппокамп, который отвечает за формирование памяти.

В неокортексе млекопитающих находятся тела нейронов, вытесненных в наружный отдел мозга. Неокортекс играет тройную роль: он получает и осмысливает сенсорную информацию, поступающую от органов и тканей тела; он посылает двигательные импульсы мышцам; а также упорядочивает сенсорную информацию и направляет ее в память. При рассматривании под микроскопом видно, что новая кора состоит из шести слоев. У большинства млекопитающих новая кора отличается складчатостью. Эти складки увеличивают объем коры, которая может уместиться в ограниченном пространстве черепной коробки. Попробуйте представить себе лист бумаги, свернутый в шар, равный по объему коре мозга. Площадь такого листка будет довольно значительной – около 2400 см^2 , что приблизительно равно площади четырех листов формата А4. В человеческом мозге насчитывают около 86 миллиардов нейронов, из них 13 миллиардов находятся в мозговой коре. Мозг у человека не самый большой в животном царстве, так как у слонов и китов он существенно больше, чем у нас, но наш мозг очень велик в сравнении с весом тела.



О — обонятельный тракт
и обонятельная луковица
П — полушария большого мозга
С — ствол мозга

Изображения головного мозга разных видов животных (без соблюдения масштаба), на которых показаны относительные размеры полушарий головного мозга; при взгляде сверху на мозг человека (как показано на рисунке) можно видеть только непомерно разросшиеся полушария большого мозга

Изображения головного мозга разных видов животных (без соблюдения масштаба), на которых показаны относительные размеры полушарий головного мозга; при взгляде сверху на мозг человека (как показано на рисунке) можно видеть только непомерно разросшиеся полушария большого мозга

Картирование человеческого мозга

У меня есть две уникальные вещи, которыми я очень дорожу. Мне крупно повезло – их сделали для меня специалисты Би-би-си во время съемок фильмов об анатомии человека и ее эволюции. Одна вещь – это реконструкция моего собственного черепа, а вторая – реконструкция моего головного мозга. Обе модели созданы на основании данных магнитно-резонансной томографии (МРТ) и изготовлены по компьютерным изображениям посредством 3D-печати.

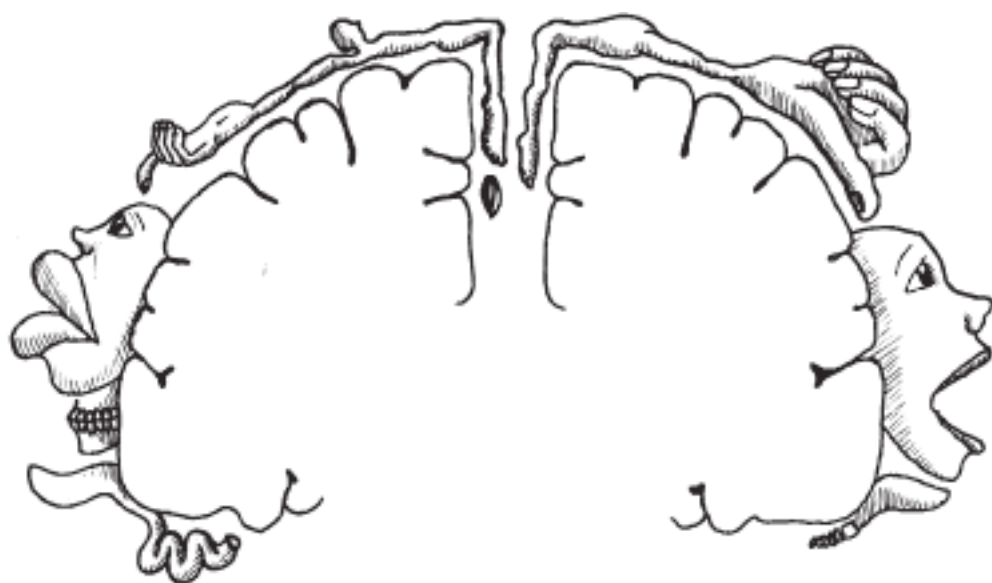
Меня обычно вдохновляет лицезрение моих личных анатомических структур. В процессе съемок или преподавания, а не в медицинских целях мне, вероятно, пришлось видеть свои внутренние органы чаще, чем многим другим людям. При ультразвуковом исследовании я наблюдала, как мое сердце, сокращаясь, перекачивает кровь; с помощью видеокамеры, вмонтированной в пластиковую пилюлю, я изнутри наблюдала работу собственных кишок, а благодаря МРТ я наблюдала свою матку и яичники, голову и гортань. Но, когда этими сканами воспользовались для того, чтобы реконструировать мой череп, я пришла в необычайное волнение. Доставая белый, как алебастр, череп из коробки, я смотрю на саму себя. Я привыкла к созерцанию реальных черепов, но эта модель по-настоящему тревожит и волнует меня. Подобно тому как костницы (оссуарии) XV века создавались для того, чтобы напоминать о бренности бытия, а не для прославления смерти, или как фигурки, используемые в мексиканском культе дня мертвецов, модель моего черепа стала для меня напоминанием о смерти – моим личным и очень сильным *memento mori*. Меньше чем через сто лет, когда черви выполнят свою кропотливую работу, я буду выглядеть именно так.

Другую трехмерную модель – мой мозг – я нахожу менее чарующей, но тем не менее в высшей степени интригующей. Сейчас, когда я пишу эти строки, модель моего мозга стоит передо мной на письменном столе. Как странно думать, что все мысли, которые возникают как нервные импульсы, перескакивающие с нейрона на нейрон через бесчисленные синапсы, происходят в реальном двойнике этой модели, уютно расположившемся внутри моего черепа.

Трехмерная модель моего мозга – очень хорошая реконструкция. На наружной ее поверхности я прекрасно вижу извилины и борозды – складки и углубления между ними, – которые делают мозг похожим на грецкий орех. Я отчетливо вижу центральную борозду, которая проходит в поперечном направлении по обеим сторонам мозга, от самого низа до самого верха, до щели, которая разделяет полушария большого мозга. Извилины серого вещества, расположенная впереди от этой борозды, называется прецентральной извилиной, которая содержит тела двигательных нейронов, посылающих аксоны в ствол мозга и спинной мозг, где эти аксоны образуют синапсы со вторичными двигательными нейронами (мотонейронами), которые своими длинными волокнами дотягиваются до скелетных мышц моего тела, вплоть до мышц, управляющих движениями пальцев ног. За центральной бороздой находится постцентральная извилина; она получает входящие сенсорные сигналы от всей поверхности тела. Расположение нейронов в этих извилинах далеко не случайно относительно тех частей тела, которыми они управляют или от которых получают информацию. Связи этих нейронов с остальными частями тела можно картировать на поверхности коры, и часто эти карты рисуют в виде человечков, «гомункулусов» (мы снова встретились с этим словом, хотя на этот раз оно отображает реальные соотношения, а не маленького человечка, свернувшегося внутри сперматозоида).

Центральная борозда отделяет друг от друга две доли каждого полушария – лобную и теменную. На каждой стороне мозга есть еще по две доли – височная доля (представляющая собой клин, расположенный под теменной и лобной долями, под защитой височной кости) и затылочная доля сзади, расположенная под одноименной костью свода черепа.

Просто невероятной кажется сама мысль о том, что реальная версия этого органа, комок живой нервной ткани внутри моего черепа, стоит за всем, что я знаю, что делаю именно сейчас. Подумайте и вы о том, что делаете сейчас, в данный момент: участки лобной коры, управляющие движениями пальцев, активизируются, когда вы переворачиваете страницы или прокручиваете вниз текст на экране компьютера. Помимо того что лобная кора управляет произвольными движениями, она участвует также в концентрации внимания, запоминании, распознавании образов и формировании эмоций. Теменные доли заняты обработкой стимулов, включая и зрительные – в режиме реального времени, воспринимая то, что находится на странице или на экране. Височные доли играют важнейшую роль в речевой функции, позволяя распознавать слова – как произнесенные, так и написанные. Затылочные доли воспринимают информацию от рецепторов сетчатки и строят изображение: вы, наверное, думаете, что видите глазами, но на самом деле в глазах происходит лишь преобразование света в электрические сигналы; эти сигналы обретают смысл и значение, только достигнув затылочной коры, где эти стимулы, собственно, и превращаются в картины и образы.



Сенсорная кора

Двигательная кора

Эти гомункулы показывают, как человеческое тело представлено в постцентральной извилине (первичная сенсорная кора) и в прецентральной извилине (первичная двигательная кора): представительства богато иннервированных областей тела выглядят на карте крупнее, чем представительства других, менее интенсивно иннервированных областей

Кроме этого, имеет место разделение функций между правым и левым полушариями головного мозга. Перекрещивание нервных путей в спинном мозге приводит к тому, что правая половина головного мозга контролирует движения левой половины тела и наоборот. Что касается других функций, то они распределены по полушариям асимметрично: «творческая» правая сторона (у большинства людей) отвечает за пространственное восприятие, восприятие живописных произведений и музыки. Левая половина мозга отвечает за более «рациональные» действия – за владение языком и за логическое мышление. Надо, однако, заметить, что обе половины головного мозга непрерывно обмениваются информацией между собой в обоих направлениях. Действительно, сигналы из одних участков коры непрерывно поступают в другие участки, причем эти сигналы не обязательно пересекают срединную щель. В то время как кора является частью серого вещества мозга, выполненного из тел нервных клеток, сигналы

передаются по белому веществу, которое представляет собой совокупность «кабелей», связывающих между собой разные участки мозга, то есть нервные клетки. Эти кабели представляют собой длинные отростки нервных клеток, называемые аксонами. Каждый аксон покрыт слоем изоляционного материала, в точности так же, как обычные электрические провода, если не считать того, что в мозге изоляция сделана не из пластика, а из жироподобного вещества – миелина. Пучки миелинизированных нервных волокон, образующие связи между областями коры, между двумя полушариями мозга и между корой и глубинными скоплениями серого вещества, составляют массу белого вещества головного мозга. В мозге новорожденного младенца миелина еще очень мало. Рост мозга в детстве, увеличение его массы обусловлены миелинизацией нервных волокон, а не возникновением новых нервных клеток.

Я снова бросаю взгляд на трехмерную модель моего мозга, на его заднюю часть, и вижу мозжечок, расположенный под затылочными долями. Именно здесь, в мозжечке, сенсорная информация от разных участков тела сливается с направленными мышцам командами из полушарий головного мозга. Взаимодействие сенсорной информации и двигательных команд в мозжечке позволяет осуществлять тонкую координацию движений и поддерживать равновесие. Вот почему люди, страдающие заболеваниями и повреждениями мозжечка, теряют способность к плавным и согласованным движениям. Тем не менее функциональная визуализация головного мозга, выполненная на фоне тех или иных видов деятельности, позволяет утверждать, что мозжечок выполняет не только чисто двигательные, но и когнитивные функции. Если же я переверну трехмерную модель моего мозга, то увижу структуры его ствола: средний мозг, мост и продолговатый мозг. Я даже могу рассмотреть то место, где находится моя древняя (в эволюционном плане) обонятельная кора и где расположен гиппокамп.

Наши современные знания о том, что и в каких участках мозга происходит во время его активности – то есть о том, какие «модули» мозга отвечают за те или иные функции, – были получены в результате появления новых технологий, таких, например, как аппараты для функциональной магнитно-резонансной томографии головного мозга (фМРТ), позволяющие изучать процессы, происходящие в живом мозге в режиме реального времени. Однако первые сведения о том, что различные участки головного мозга отвечают за разные функции, были получены задолго до изобретения магнитно-резонансных и компьютерных томографов; эти данные были результатом наблюдений за больными, страдавшими какими-либо локальными поражениями мозга – при травмах и инсультах. Самым известным из этих документированных случаев является случай американского железнодорожного рабочего Финеаса Гейджа. 13 сентября 1848 года 25-летний Гейдж был травмирован в результате взрыва, выбросившего из шурфа металлический стержень диаметром 3 см и длиной около метра. Этот стержень пробил череп Гейджа. Свершилось настоящее чудо, ибо Гейдж выжил и был обследован врачом по имени Джон Харлоу. История болезни Финеаса Гейджа, которую вел Харлоу, была опубликована им в 1868 году в журнале *Publications of the Massachusetts Medical Society*.

Харлоу описал, каким именно образом железный стержень пробил голову Гейджа: «Ранящий снаряд ударил своим заостренным концом в левую сторону лица, непосредственно перед от угла нижней челюсти, прошел косо вверх и назад и вышел наружу по срединной линии через задний отдел лобной кости вблизи венечного шва».

Далее Харлоу пишет о том, что Гейдж очень быстро пришел в сознание и был способен говорить уже через считанные минуты после получения травмы, о том, что, после того как Гейджа привезли на телеге в гостиницу, он самостоятельно спустился на землю, а затем поднялся по лестнице на второй этаж. Харлоу произвел ревизию ран: отверстие в щеке, где железный стержень вошел в голову, и большое продолговатое отверстие размерами 5 × 9 см, расположенное на своде черепа. Харлоу прощупал раны. В отверстие на своде черепа он смог целиком ввести правый указательный палец, а в отверстие в щеке – целиком левый указательный

палец, но прикоснуться пальцами друг к другу Харлоу не смог. После осмотра Харлоу выполнил хирургическую обработку ран.

Харлоу наблюдал Гейджа на протяжении нескольких следующих месяцев. В ноябре того же 1848 года он отмечает, что «пациент быстро идет на поправку» и находится в хорошей физической форме. Гейдж наверняка очень хотел вернуться на работу, но железнодорожная компания отказала ему.

Харлоу писал, что до получения травмы Гейдж обладал «уравновешенным характером, а все знакомые считали его сообразительным и работающим парнем, очень энергичным и целеустремленным». Руководители считали Гейджа одним из лучших бригадиров – но травма изменила личность Гейджа. Теперь он стал «импульсивным, грубым, временами допускал сквернословие... проявлял нетерпение... невероятное упрямство и при этом стал капризным и нерешительным... Характер и ум его разительно изменились, причем настолько, что его друзья и знакомые в один голос говорили, что он “перестал быть Гейджем”».

Следующие четыре года Финеас Гейдж провел в скитаниях по штату Нью-Йорк и Новой Англии, некоторое время провел в цирке Барнума, демонстрируя во время представлений ранивший его стержень для трамбовки пороха и рассказывая свою печальную историю. После этого Гейдж некоторое время жил в Чили, а потом вернулся в Сан-Франциско, где жили его мать и сестра. Все это время Гейдж часто менял работу, будучи не в состоянии подолгу удерживаться на одном месте. В 1861 году, через двенадцать лет после травмы, у Гейджа начались припадки, и в мае того же года, на фоне сильных судорог он скончался.

Вскрытие произведено не было, но мать Гейджа разрешила доктору Харлоу вскрыть могилу и изъять из нее череп – «в интересах науки». На черепе была ясно видна траектория стержня, пробившего голову Гейджа: снаряд прошел сквозь левую верхнюю челюсть, через задний отдел левой глазницы и вышел наружу через лобную кость в ее задней части. Несомненно, что стержень прошел через левую сторону лобной доли, и Харлоу был уверен, что была повреждена также левая височная доля и вскрыт боковой желудочек – наполненная жидкостью полость внутри височной доли.

Более чем через 150 лет после того, как Финеас Гейдж пережил тяжелое ранение головы, группа анатомов и рентгенологов медицинского факультета Гарвардского университета провела еще одно исследование черепа Гейджа. На этот раз была выполнена компьютерная томография. Этот скан использовали для воссоздания трехмерной реконструкции черепа, что позволило смоделировать траекторию ранящего снаряда – железного стержня диаметром 3 см. Стало ясно, что височная доля не пострадала, так как стержень пробил только левую лобную долю. Согласно траектории, стержень не задел также двигательную область лобной доли, что объясняет, почему у Гейджа не развился паралич. Стержень прошел близко от внутренней сонной артерии у основания черепа и от верхнего сагиттального синуса (вены, заключенной между листками твердой мозговой оболочки) в вершине свода черепа. Если бы стержень задел хотя бы один из этих крупных кровеносных сосудов, то возникло бы массивное внутричерепное кровоотечение, которое, скорее всего, оказалось бы смертельным.

* * *

Мы прошли долгий путь с тех пор, как Финеас Гейдж и его лом открыли врачам, что лобная доля мозга имеет какое-то отношение к мышлению, процессу принятия решений и социально адаптированному поведению. Намного более свежие исследования функции мозга показали, что эти «высшие» когнитивные функции локализованы в передней части лобной доли – в так называемой префронтальной коре, непосредственно кпереди от двигательной коры. В середине позапрошлого века ученые не обратили должного внимания на травму Гейджа и не извлекли из нее полезных уроков, не сделали вывода о том, что для разных областей мозга

характерна функциональная специализация и они отвечают за разные функции. Сейчас представляется просто невероятным, что никто не обратил внимания на данные доктора Харлоу, теперь, в свете наших современных знаний, такое отношение представляется нам противоречащим здравому смыслу.

До начала XIX века мозг считали гомогенным шариком, функции которого, по мнению ученых, мало отличались от функции, скажем, печени. Френологи первыми предположили, что разные участки мозга отвечают за разные когнитивные функции, но их учение о шишках черепа было вопиюще лженаучным.

Первые признанные научным сообществом свидетельства функциональной специализации мозга были опубликованы французским врачом, анатомом и антропологом Полем Брока. Исследуя мозг пациентов, страдавших поражениями мозга и расстройствами речи, Брока обнаружил и описал область в лобной доле, которая, судя по всему, отвечала за продукцию речи. В 1861 году он опубликовал результаты своих наблюдений в статье, озаглавленной «О принципе мозговых локализаций» (*Sur le principe des localisations cérébrales*). По знаменательному совпадению, статья была напечатана в год смерти Финеаса Гейджа.

В 1874 году немецкий невролог Карл Вернике предположил, что верхняя часть височной области отвечает за понимание речи. Свои выводы Вернике тоже основывал на наблюдениях больных, страдавших поражениями этой области. Несмотря на то что новейшие исследования внесли некоторые коррективы в наши представления об анатомической локализации различных функций мозга, его области, открытые этими первопроходцами, по-прежнему называются «зоной Брока» и «зоной Вернике».

Карта коры головного мозга рождалась на свет в таких же муках, как и карта земной поверхности, в результате многочисленных повторных исследований и наблюдений. В конечном счете мозг, как и земной шар, был досконально описан со всеми своими континентами, странами и островами. Можете открыть любой учебник по анатомии центральной нервной системы, и вы найдете там точные описания и аккуратные обозначения всех областей мозга, но на самом деле не все так просто, ведь мы говорим о *головном мозге*. В нем содержится около 13 миллиардов нейронов – и это только в новой коре; при этом на каждый нейрон приходится в среднем 7000 синаптических связей, что составляет почти 100 триллионов связей на весь объем коры головного мозга. Лично я от таких чисел начинаю нервничать. Одно дело – набросать карту связей между крупными областями мозга в связи с определенными функциями и совсем другое – составить реальную карту всех связей между нейронами. Тем не менее находятся смельчаки-нейробиологи, пытающиеся решить эту задачу.

В 2007 году группа ученых медицинского факультета Гарвардского университета, во главе с профессорами Джеффом Лихтманом и Джошуа Сейнсом, изобрела новую методику визуализации: многоцветную систему картирования нейронов, призванную отобразить все сложные взаимосвязи нейронов в головном мозге. Пользуясь достижениями генной инженерии, они внедрили несколько избыточных генов в геном мыши. Эти гены запрограммированы на синтез флуоресцирующих разными цветами белков, которые заставляют светиться нейроны подопытной мыши. Случайные комбинации цветов могут создать более сотни оттенков, которые можно использовать для идентификации отдельных нейронов. Когда мы глядим в микроскоп на срезы мышиного мозга, эти цвета помогают нам точно проследить длинные волокна нервных клеток и выявить клетки, образующие друг с другом синапсы. Авторы достаточно остроумно окрестили свою методику «Brainbow» (от *англ. brain* – «мозг» и *rainbow* – «радуга»).

Пару лет назад мне посчастливилось лично познакомиться в Гарварде с профессором Джеффом Лихтманом. Естественно, мы заговорили об уникальности человеческого мозга. Наш мозг чрезвычайно велик, он содержит огромное число нейронов, но Джефф твердо убежден в том, что нас, людей, уникальными делает не размер мозга и не число нейронов: самое главное заключается в строении нейронных цепей, в связях между ними. У примитивных

животных, по крайней мере, примитивных в этом отношении, как, например, изученный вдоль и поперек круглый червь *Caenorhabditis elegans* (любимый объект эмбриологов), нервная система которого состоит всего из 300 нейронов, связи этих нейронов детерминированы генетически. У приматов, и в частности у людей, генетическая программа задает диапазон возможностей, которые затем совершенствуются в ходе взаимодействия индивида с окружающей средой. В момент рождения человек уже обладает большей частью своих нейронов и чрезмерно большим числом связей между ними. Я не оговорила: связей действительно чрезмерно много, и эта избыточность является существенной и очень важной частью сложности развития нервной системы. Избыточные связи уничтожаются по мере развития мозга, что обусловлено личным опытом. В результате каждый нейрон ограничивает, но и одновременно укрепляет связи с другими нейронами. Дело не только и не столько в утрате связей – речь идет об их перестройке более ограниченным, но стратегически более выгодным способом. Джефф считает, что нечто подобное происходит с иннервацией мышечных волокон. В момент рождения каждый двигательный нейрон иннервирует множество мышечных волокон, а каждое мышечное волокно иннервируется множеством нейронов. Далее следует конкуренция, в ходе которой каждый аксон конкурирует с другими за контакт с мышечным волокном. Побеждает в этой борьбе только какой-то один аксон. (Интересна сама мысль о том, что развитие происходит именно таким путем: оказалось, что мы состоим из сложных колоний клеток, и эти клетки конкурируют друг с другом за выживание.)

У человека самое длинное детство из всех млекопитающих, и этот отрезок времени используется на удаление лишних связей. Но на самом деле мы – постоянно обучаясь – продолжаем оптимизировать число синаптических связей всю нашу жизнь. Наш мозг не является исключительно продуктом генетического программирования, он является результатом воздействия, как природы, так и окружающей среды. Гены задают диапазон возможностей, а взаимодействие с окружающей средой (включая конечно же и культурную среду) создает реальные связи нейронов мозга взрослого человека.

По мнению Джеффа, невероятная сложность строения человеческого мозга оставляет место свободе воли. «Существует так много факторов, столько сложностей, что точно предсказать исход невозможно – а значит, свобода воли существует, или, другими словами, сложность системы такова, что свобода воли может и должна существовать».

Я спросила Джеффа о задаче картирования человеческого мозга и особенностях использования сети нейронов для визуализации и попытки понять строение и функции нейронных сетей. «Это любопытный замкнутый круг, – согласился Джефф. – Дело в том, что мы используем очень сложную машину для того, чтобы рассмотреть еще более сложную машину, принцип работы которой мы хотим понять. Это особенно актуально, когда мы изучаем зрительные связи таламуса. Мы используем эти связи в нашем мозге для того, чтобы интерпретировать картину связей...»

Очевидно, Джефф понял, что рискует запутаться, и умолк, а затем пустился в философские рассуждения о возможности разобрать человеческий мозг на части, понять его устройство, а потом снова собрать. «Мне кажется, что наше сознание и разум – это всего лишь такая физическая машина. И это несмотря на то, что в основе исследуемой нами структуры лежит динамический процесс – функции нервных клеток, электрические импульсы, проходящие через межнейронные связи. Но даже я, нейробиолог, испытываю тревогу, когда думаю, что единственное, что есть в человеческом мозге, – это его связи».

Да, мы визуализируем мозг, пытаемся понять его, создавая трехмерные модели на основе магнитно-резонансных изображений или картируя нейроны и их связи, но мне кажется, что все это едва ли поможет понять истинную суть того, что происходит в нашей черепной коробке. Возможно, настанет день, когда мы узнаем об этих связях все, и точно поймем, как функционирует наш мозг – во всех мельчайших деталях и подробностях, но я не уверена, что даже

тогда положение сильно изменится. Похоже, что разум хочет и дальше оставаться загадочным, капризным и непознаваемым.

Джефф Лихтман занимается исключительно анатомией – на электронно-микроскопическом уровне. Но что в реальности делают эти миллиарды связей? Одним из способов исследования этого вопроса является возвращение к истокам – изучение больных с определенными поражениями мозга и с соответствующими неврологическими дефицитами, как, например, доктор Харлоу изучал Финеаса Гейджа. Правда, теперь мы располагаем технологиями, позволяющими увидеть в режиме реального времени работу живого мозга. Это, конечно, звучит отвратительно и цинично, но теперь у нас есть несколько неинвазивных способов заглянуть человеку в голову.

Одним из способов неинвазивного исследования функции головного мозга является регистрация его электрической активности с помощью электродов, помещенных на кожу головы. Этот метод исследования называется электроэнцефалографией (ЭЭГ). Однако таким методом трудно точно локализовать источник регистрируемой электрической активности. Другие методы функциональной визуализации мозга основаны на косвенных данных. Например, при позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) используют скорость метаболизма глюкозы или интенсивность кровотока, как маркеры интенсивности обмена веществ в тканях головного мозга. Функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) может использоваться для выявления активных участков мозга, так как помогает регистрировать усиление кровотока в более активных областях головного мозга. Методы функциональной визуализации показали следующее: несмотря на то что они позволяют картировать функции областей и участков коры, края этих областей остаются весьма размытыми и нечеткими, а кроме того, одна функция может быть представлена в нескольких разных участках мозга. Важно, таким образом, знать особенности связей между областями мозга.

Пока мы видим огромную пропасть между тонкими методами нейроанатомического анализа Джеффа Лихтмана, которые позволяют наблюдать отдельные нейроны, аксоны, дендриты и синапсы, и написанной широкими мазками картиной, возникающей на экранах приборов функциональной визуализации нервной системы. Есть, правда, надежда, что в будущем эти две области исследований удастся сблизить и мы получим возможность детально, с высоким разрешением увидеть функциональную анатомию головного мозга.

Мне два раза делали фМРТ головного мозга, и каждый раз эта картина вызывала мое неподдельное удивление. Во время первого исследования, несколько лет назад, я была страшно заинтригована областями двигательной коры мозга, которые вспыхивали ярким светом, стоило мне пошевелить пальцами. Но этого следовало ожидать. В конце концов, я знала, где находится двигательная кора. Однако во время второго исследования, в 2011 году, я была удивлена по-настоящему. Мне предстояло увидеть в мозге то, что было открыто совсем незадолго до исследования: это был секрет, который я не могла узнать в университете, изучая нейроанатомию в начале 1990-х.

Зеркальные нейроны

Холодным январским утром 2011 года я села в лондонский поезд и направилась в Бирбекский колледж, испытывая по дороге нарастающий трепет. Исследование, которое мне предстояло, не было назначено по медицинским показаниям, но всегда испытываешь беспокойство: вдруг обнаружится что-нибудь неожиданное или даже ужасное. И, хотя умом я понимала, что если бы со мной было что-то неладное, то я бы это чувствовала, и шансов найти патологию практически не было, я все же немного нервничала.

У входа в здание колледжа я столкнулась с тележурналистом Майклом Мосли, специализирующимся на медицинской тематике. Майкл должен был пройти МРТ-исследование – для того, чтобы показать его по телевидению, а не по медицинским показаниям. Особенностью исследования было то обстоятельство, что по ходу процедуры Майклу должны были временно отключить зону Брока, тем самым лишив его способности говорить. Продюсер фильма сначала предложил эту честь мне, но я отказалась. Не говоря о том, что я была откровенно испугана этим предложением подвергнуться риску ради телевизионной передачи, хотя я понимала, что риск минимальный, но кто знает, вдруг я не оправлюсь от этого эксперимента? Я сказала Майклу, что он храбрее меня. (Я встретила его через несколько месяцев после передачи и рада сообщить, что его способность говорить восстановилась полностью.)

Войдя в колледж, я спустилась в подвал, где меня отвели в конец коридора – там меня уже ждал доктор Джефф Берд. Джефф исследовал с помощью функциональной МРТ способность людей общаться друг с другом, но его интересовали и такие более абстрактные когнитивные функции мозга, как внимание, эмоции и эмпатия.

Переодевшись в одежду, не содержащую ничего металлического, я сняла с себя все ювелирные украшения, присела на край похожей на полку тележки, на которой меня должны были вдвинуть в раструб огромного магнита, и стала ждать, когда Джефф приготовит все для выполнения процедуры. Потом мне дали затычки, которые я вставила в уши (аппарат МРТ во время работы издает достаточно громкие звуки), и я улеглась на кушетку. Джефф надел мне на голову похожую на маску клетку с индукционной катушкой. Излучаемые катушкой радиоволны должны будут проникать в мою голову, и протокол предусматривал перерывы в излучении – чтобы мой мозг не слишком сильно нагревался в процессе исследования. Теперь пути к отступлению не было. Джефф вышел из комнаты, закрыв за собой дверь, но мне была оставлена возможность связаться с ним – и участниками съемочной группы – по внутренней двусторонней связи.

Машину включили, кушетка подо мной пришла в движение – сначала она приподняла меня, а потом установилась в такое положение, когда моя голова оказалась внутри гигантского «пончика» сканера. Маленькое зеркальце, под углом прикрепленное к клетке, надетой мне на голову, позволяло мне смутно видеть силуэт Джеффа за пультом управления. Кроме того, он закрепил на входе в сканер темный экран, на который проецировались команды. Исследование началось, и на экране появились слова: «указать», «сжать кулак», «вытянуть» и «поднять большой палец». Каждая инструкция подлежала выполнению – я должна была сделать соответствующее движение правой рукой. «Вытянуть» означало растопырить пальцы, «указать» – вытянуть вперед указательный палец, остальные команды были понятны без разъяснений. После выполнения каждой команды надо было расслабить руку и вернуть ее в исходное положение. Слова на экране сменялись быстро, я едва поспевала за ними. Иногда я пыталась предвосхитить команду, но часто ошибалась, например, растопыривая пальцы вместо того, чтобы сжать их в кулак. Я поняла, что мне надо по-настоящему сосредоточиться, но даже после этого я продолжала делать ошибки, страшно ругала себя за это и боялась, что испорчу все исследование. За инструкциями последовали видеоизображения с рукой, выполнявшей такие же движения.

Мне надо было просто смотреть на эти движения, ничего не делая самой. После нескольких циклов мне стала казаться трудной даже и эта задача. Мне наскучили эти картины, и я начала задумываться о более интересных вещах, например о предстоящем обеде. Потом я снова брала себя в руки и принималась следить за экраном.

Позже Джефф показал мне результаты сканирования в визуальной форме: активные области моего мозга светились красным цветом на фоне серого изображения всего мозга. Результаты оказались захватывающими: в лобной доле, в префронтальной коре были области, отвечавшие за планирование движений. Эти области начинали светиться, когда я двигала рукой, но что самое интересное, те же области снова вспыхивали красным, когда я наблюдала те же движения, совершаемые другими людьми.

Итак, здесь, в моем собственном мозге, существуют нейроны, которые разряжались не только когда я двигала рукой, выполняя определенные действия, но и когда я наблюдала, как кто-то выполняет те же движения. У вас тоже есть такие нейроны. Они есть у всех. Это «зеркальные» нейроны, и их существование делает когнитивную нейрофизиологию еще более сложной – и более интересной. В самом деле, вам не надо даже *видеть* что-то для включения зеркальных нейронов. Достаточно просто услышать звук, характерный для какого-то действия. Это было показано на обезьянах, слышавших звук от раскалывания орехов, и на людях, слушающих человеческую речь. Эти нейроны очень умны – они активизируются не только простыми действиями, но и действиями, объединенными в комплексы для достижения определенной цели. Представляется, что эти нейроны помогают нам понять целесообразность определенного действия.

Просто подумайте обо всех вещах, которые вы когда-либо усвоили, наблюдая или копируя чьи-либо действия. На самом деле это трудно сознательно обдумать, и такое обучение происходит быстрее, чем вы успеваете его обдумать. Люди в высшей степени способны копировать действия друг друга, и поэтому зеркальные нейроны очень важны для нас (хотя они присутствуют и у представителей других биологических видов). Эти нейроны определяют нашу способность подражать и учиться у других.

Нейробиолог Вилейяну С. Рамачандран утверждает, что зеркальные нейроны дают нам врожденную способность к имитации, и поэтому новорожденный способен копировать мать, высовывая изо рта язык. Я сама, помнится, показывала язык обоим моим детям, когда они были еще совсем маленькими, и была поражена их способностью копировать мои действия. Вы только подумайте, о чем говорит эта способность: ребенку не надо практиковаться перед зеркалом для того, чтобы повторить увиденное чужое действие (высовывание языка, тем более что ребенок не узнает себя в отражении). Представляется, что мозг ребенка уже настроен на формирование связи между чужим и своим лицом.

Зеркальные нейроны активизируются, когда мы видим или слышим, как другие люди выполняют какие-либо действия или произносят определенные слова, но думается, что функции зеркальных нейронов простираются намного дальше. Когда мы видим, что кто-то сильно ушибся, мы проникаемся эмпатией: мы не только умом понимаем, что человеку больно, мы *ощущаем* эту боль. Рамачандран называет эти нервные клетки «нейронами Ганди», так как они стирают границу между самим собой и другими. Люди обладают чрезвычайно развитой способностью понимать, что думают и делают другие, – «читать мысли» – и эта функция тоже может зависеть от активности зеркальных нейронов. Представляется, таким образом, что эти специальные нейроны могут играть важнейшую роль в нашем становлении как общественных животных: мы способны к сочувствию, сотрудничеству и, конечно, к обману. Рамачандран также предположил, что зеркальные нейроны вообще крайне важны для эволюции нашего вида; именно они способствовали появлению и развитию языка, взлету культуры и возникновению цивилизации.

Я принялась расспрашивать Джеффа о зеркальных нейронах. В то время он как раз занимался исследованием возможной связи между зеркальными нейронами и эмпатией, а также высказал весьма смелое предположение о том, что аутизм может быть связан с недостаточной активностью зеркальных нейронов. Это было логичное утверждение, но сам Джефф пока не был уверен в действительном существовании такой связи; проведенные ранее исследования дали противоречивые результаты. Кроме того, Джефф довольно скептически отнесся к мнению о том, что зеркальные нейроны и связанные с ними функции являются врожденными свойствами головного мозга человека. Джефф считал, что эта зеркальность есть результат обучения, что положительная обратная связь от копирования чужих действий может способствовать возникновению и развитию таких нейронов. Неужели я побуждала ребенка копировать мои действия, когда улыбалась ему в ответ на его улыбку?

Зеркальные нейроны присущи не только человеку, они открыты также у обезьян. Но откуда они взялись? Возможно ли, что они, эти нейроны, сами являются приспособительным признаком, которому благоприятствовал естественный отбор? Согласно такому взгляду, зеркальные нейроны являются врожденной структурой, и любые индивиды (будь то обезьяны или люди), обладающие ею, а следовательно, врожденной способностью понимать действия других, получают эволюционное преимущество. Но что, если зеркальные нейроны суть результат обучения? Возможно ли, что они могут формироваться под влиянием обучения, по мере того как индивид наблюдает некие действия и пытается их повторить, в результате чего формируется связь между «моим действием» и «действием другого»? При таком сценарии зеркальными нейронами становятся двигательные нейроны, способные в процессе обучения воспроизводить какое-либо действие, выполняемое другим. Естественный отбор может благоприятствовать такому типу обучения в еще большей степени, нежели возникновению самих зеркальных нейронов. Есть небольшие различия в функционировании зеркальных нейронов у нечеловекообразных обезьян и у человека, и это различие проще всего объяснить, если система таких нейронов возникла в результате ассоциативного обучения, а не как врожденная структура.

Но как быть с детьми, которые показывали язык после того, как это делала я? Несомненно, это говорит в пользу врожденного существования зеркальных нейронов, не так ли? У новорожденных детей отсутствует опыт формирования ассоциаций между тем, что делают они сами, и тем, что делают другие. К сожалению, высовывание языка представляется изолированным примером поведения, когда ребенок копирует поведение взрослого, и некоторые ученые считают, что это вовсе не имитация или подражание, а всего лишь неспецифический ответ на некий стимул. Представляется, что в настоящее время отсутствуют доказательства существования зеркальных нейронов в мозге новорожденных. Может быть, мой ребенок высовывал язык в ответ на все раздражители, но я замечала это, только когда сама высовывала язык, а ребенок повторял мое действие.

Есть также данные о том, что приобретенный опыт модифицирует систему зеркальных нейронов. Например, у пианистов при наблюдении за игрой на фортепиано мозг активизируется сильнее, нежели у людей, не умеющих играть на этом инструменте. Мозг балетных танцоров активизируется при просмотре балета сильнее, нежели у танцоров диско. Эти наблюдения делают более вероятным мнение о том, что зеркальные нейроны развиваются в процессе обучения, а степень их развития зависит от прошлого опыта наблюдения и выполнения определенных действий.

Таким образом, то, что мой ребенок высовывал язык, возможно, и в самом деле не имело ничего общего с зеркальными нейронами; возможно, он сам работал над созданием собственной системы этих нейронов. Он проводит много времени, глядя на свои руки, шевелит пальцами и внимательно на них смотрит, и это, вероятно, есть склонность – может быть, возникшая как некий побочный эффект, – которая появляется как реакция на практически полную беспомощность при рождении и помогает ему развить точный контроль над движениями рук,

связывая зрение и мышечное действие. Сноровистость кисти жизненно необходима для способности изготавливать орудия труда – то есть создавать технологии. Может быть, зеркальные нейроны и способность соотносить собственные действия с наблюдаемыми действиями других является лишь побочным продуктом обучения координации зрения и движения.

Представляется, что зеркальные нейроны, скорее всего, – это проявление способности обучаться связывать задания, которые выполняем мы, с заданиями, которые выполняют другие. Однако эти нейроны есть не только у людей, поэтому, какими бы замечательными они ни были, не они определяют нашу уникальность. Вероятно, они очень важны для социальных взаимодействий – так же, как и для интерпретации каких-то базовых действий, – но тем не менее они, скорее всего, являются результатом, а не причиной нашей в высшей степени социальной природы.

Зеркальные нейроны так сильно интригуют ученых, потому что не соответствуют тому, что ожидали найти в них нейробиологи. Может быть, это очень наивно с нашей стороны – пытаться обозначить те или иные участки коры как «двигательные» или «чувствительные». Зеркальные нейроны не захотели подчиниться жесткой классификации; однако они, по крайней мере, заставили нас шире взглянуть на сущность и функции головного мозга.

Попытаться понять, чем именно наш мозг отличается от мозга других приматов, – задача не из легких. Наш мозг огромен, он гораздо больше мозга даже наших ближайших родственников – человекообразных обезьян, но проблема заключается в том, что надо как-то объяснить, что делает в нашем организме такое непомерное количество мозговой ткани, и именно поэтому такими обескураживающими оказываются дебаты по поводу зеркальных нейронов. В какой-то момент сложилось впечатление, что мы наконец натолкнулись на нечто совершенно уникальное в человеческом мозге, нечто фундаментально человеческое, что могло бы объяснить эволюционный успех нашего вида. Но зеркальные нейроны, как выяснилось, не являются специфической особенностью человеческого мозга.

Этот огромный человеческий мозг

Такие человекообразные обезьяны, как, например, шимпанзе, обладают более крупным мозгом по сравнению с другими млекопитающими и даже с многими другими обезьянами, например мартишковыми. Но мозг шимпанзе по размеру составляет лишь малую долю от человеческого мозга. Сравнивая размеры мозга, очень важно принимать во внимание и размеры тела. Мозг кашалота весит 8 кг, что приблизительно в 6 раз больше веса человеческого мозга. Но такой вес не кажется чрезмерным, если учесть, что кашалот весит около 20 т, а человек – 70 кг. Другими словами, вес мозга кашалота составляет 0,04 % от веса его тела, в то время как доля мозга человека – около 2 %.

Но что это означает? Крупные животные – это не просто увеличенные копии животных более мелких, – законы физики и физиологии предполагают, что пропорции тела неизбежно изменяются при изменении размеров тела и даже без участия естественного отбора различные части тела могут развиваться по-разному. Не стоит ожидать, что вес мозга будет составлять неизменную долю от веса тела, независимо от размера животного. Многие специалисты утверждают, что наилучший способ оценки размеров мозга – это использование КЭ, «коэффициента энцефализации»⁵. Если млекопитающее имеет ожидаемый размер мозга, то, согласно формуле, коэффициент энцефализации будет равен 1. Коэффициент энцефализации шимпанзе равен 2; мозг этих обезьян весит в два раза больше, чем можно ожидать от мозга млекопитающего с таким же весом тела. У человека коэффициент энцефализации больше 5, то есть он в 5 раз больше, чем можно ожидать, исходя из веса нашего тела. В ходе эволюции человека вес тела определенно увеличивался: средняя масса тела австралопитека, жившего около трех миллионов лет назад, составляла около 40 кг, что приблизительно в два раза меньше массы тела современного человека. Можно было бы ожидать, что вес мозга несколько увеличится по мере увеличения массы тела, но в течение эволюции человека рост массы мозга происходил непропорционально в сравнении с ростом массы тела. Именно поэтому коэффициент энцефализации у человека так велик в сравнении с другими человекообразными обезьянами.

И в самом деле, человеческий мозг на удивление велик. У некоторых людей объем мозга не превышает одного литра, в то время как у других он может достигать 1,7 л (в большинстве случаев такой вес соответствует большему размеру тела). В среднем объем мозга человека составляет около 1,4 л.

Разумеется, мне очень захотелось узнать, насколько велик мой собственный мозг. У меня есть весьма точная его трехмерная модель, и с помощью мерного кухонного кувшина я выяснила, что объем моего мозга равен 1,4 л. Это средний, очень средний мозг, но его объем впечатляет при сравнении с объемом мозга других млекопитающих.

Для сравнения: объем мозга шимпанзе в среднем равен 380 мл, что едва ли больше объема мозга новорожденного ребенка. Мой, очень средний, мозг более чем в 3,5 раза крупнее мозга шимпанзе, а в его коре приблизительно в два раза больше нейронов, чем в коре мозга этой обезьяны.

Человеческий мозг не только больше мозга наших ближайших современных родственников, он и организован по-другому, особенно в том, что касается мозговой коры, и эта новая организация возникла в ходе эволюции человека. Изменились пропорции долей мозга. Несмотря на то что мозг человека в какой-то степени напоминает увеличенную копию мозга шимпанзе, некоторые его области относительно больше, а некоторые, наоборот, меньше. Так,

⁵ Коэффициент энцефализации (индекс энцефализации; EQ) – мера относительного размера мозга, определяющаяся как отношение фактической массы мозга к средней прогнозируемой массе тела для млекопитающего данного размера. Предположительно характеризует развитость *интеллекта* животного. Для оценки EQ у млекопитающих соотносят массу мозга с массой тела, возведенной в степень 0,75, и умножают полученный результат на фиксированный коэффициент. – *Прим. ред.*

затылочная доля, отвечающая за зрение, относительно меньше у человека. Первичная зрительная кора занимает у шимпанзе около 5 % поверхности всей коры, а у человека – всего 2,3 %. Относительно мал также и человеческий мозжечок. Он приблизительно на 20 % меньше, чем у шимпанзе. И в то же время теменные доли, височные доли и префронтальная кора относительно больше у человека. Трудно понять, как эта разница в строении отражается на функциях мозга, но представляется, что естественный отбор потрудился как над абсолютным размером мозга, так и над размерами отдельных «модулей» внутри мозга.

Можно (хотя и осторожно) предположить, что относительное увеличение определенных отделов мозга в ходе эволюции человека произошло в результате воздействия естественного отбора. Наши предки, у которых были хоть немного увеличены префронтальная кора и височные доли, должно быть, имели какие-то адаптивные преимущества, что и привело к непропорционально мощному дальнейшему их развитию. Но в чем могло заключаться подобное адаптивное преимущество? Для того чтобы ответить на этот вопрос, надо рассмотреть функцию увеличившихся областей головного мозга. Здесь, конечно, надо соблюдать осмотрительность, потому что исследования мозговых функций показывают, что решение конкретных задач требует участия не одной, а нескольких областей мозга, и между индивидами существуют значительные отличия в участии тех или иных участков мозга в решении одних и тех же задач. Однако мы наверняка знаем, что височная доля – которая у людей на 25 % больше (относительно), чем у человекообразных обезьян, – отвечает за память и язык. Это увеличение височной доли, как представляется, произошло в нашей эволюционной истории очень поздно – об этом мы знаем на основании изучения ископаемых черепов. Височная доля расположена в средней мозговой ямке, над каменистой частью височной кости. Средняя мозговая ямка приблизительно на одну пятую больше у ископаемых черепов *Homo sapiens*, чем у более архаичных видов, включая неандертальца и гейдельбергского человека. По-видимому, гейдельбергский человек (*Homo heidelbergensis*) является общим предком для нас и неандертальцев. К сожалению, мы не можем знать, как эта разница сказывалась на различии в речевых способностях между этими видами.

Префронтальная кора отвечает за «высшие» когнитивные навыки, такие как речь, мышление, планирование и социальное поведение, – то есть за те навыки, которые бедняга Финеас Гейдж утратил после травмы. Вполне возможно, что увеличенная префронтальная кора человека – это физическое проявление многого из того, что мы считаем современным человеческим поведением, способностью к абстрактному мышлению и его выражению с помощью устной или письменной речи, способностью к коллективному созиданию культуры и к образованию сложных общественных систем.

Этот тип свойственных человеку сложных социальных взаимодействий, как представляется, зависит от одной особенной способности, названной умением строить «внутреннюю модель сознания “другого”» (теорией сознания), каковое считается краеугольным камнем человеческой психологии. Эта способность заключается в приписывании определенных ментальных состояний себе и окружающим и в понимании того, что убеждения, верования и цели других людей могут не совпадать с нашими собственными. Мы понимаем, что поведение других людей зависит от их ментального состояния, и в некоторых ситуациях мы способны предсказать их поведение, потому что можем вообразить, что эти люди думают и чувствуют. Эта способность развивается в очень раннем детстве. Дети начинают оценивать, куда направлено внимание других, следя за взглядами родителей, в возрасте 7–9 месяцев. К двух- или трехлетнему возрасту дети начинают понимать, что действия других людей целенаправленны.

Между тем шимпанзе в высшей степени социальные животные – они не только конкурируют, но и сотрудничают между собой – и может показаться, что способность приписывать другим определенные ментальные состояния была бы очень полезна для таких животных. Но есть ли у шимпанзе способность прогнозировать чужие мысли?

Проведенные на эту тему исследования дали неоднозначные результаты. В 1996 году в одном из исследований шимпанзе просили у экспериментатора еду, независимо от того, видели ли они его лицо, или оно было закрыто надетым на голову ведром. Таким образом, в ходе эксперимента было показано, что шимпанзе, скорее всего, не понимают, что кто-то может воспринимать текущую ситуацию не так, как они сами. Эти и другие исследования позволяют предположить, что шимпанзе понимают лишь «поверхностное поведение». Они могут предсказать, как поведут себя другие, но эти предсказания основаны исключительно на их предыдущем опыте наблюдения за поведением других. При этом шимпанзе не делает попыток проникнуть в то, что думают другие, чтобы предсказать их поведение.

Экспериментаторы поставили опыт с целью выяснить, понимают ли шимпанзе, что чужое поведение может быть целенаправленным: то есть если индивид что-то делает, то он преследует какую-то определенную цель. Шимпанзе в состоянии понять, что цель достигается с помощью определенного действия, но это не значит, что они осознают, что тот, кто его совершает, намеревался достичь именно этой цели. Однако если шимпанзе, очевидно, понимает наличие цели, когда экспериментатор производит безуспешную попытку ее достичь или с ним что-то происходит в процессе, то можно все же предположить, что в сознании шимпанзе происходит нечто более глубокое. Если вместо того, чтобы имитировать неудачную попытку экспериментатора достичь некой цели шимпанзе понимает истинную цель и делает что-то для успешного ее достижения, то это будет убедительным свидетельством того, что шимпанзе в состоянии интерпретировать ментальный статус другого существа.

Майкл Томаселло, который изучает детей и шимпанзе, считает, что большинство данных свидетельствует о том, что шимпанзе все же обладают способностью к созданию моделей чужой психики. Набор поведенческих и контекстуальных правил, которые надо использовать для того, чтобы достичь того же результата, который был продемонстрирован в экспериментах, означает, что для шимпанзе все же не свойственно только поверхностное понимание чужого целенаправленного поведения.

Еще одно свидетельство в пользу того, что шимпанзе способны создавать модели чужой психики, – это их способность распознавать, куда направлено чужое внимание. Шимпанзе следят за направлением взгляда (чаще все же за направлением поворота головы, ибо слежение за взглядом – это чисто человеческая черта, чему способствует анатомическая особенность: белки глаз очень хорошо видны на лице и за ними удобно следить). Они пытаются определить объект внимания других точно так же, как это делают маленькие дети. В опытах, по ходу которых шимпанзе конкурируют за еду, их поведение трудно поддается объяснению, если считать, что у шимпанзе отсутствует способность к моделированию чужого ментального состояния. Например, если в поле зрения или в пределах слышимости одного животного находятся другие шимпанзе, то оно будет пытаться скрыть свое приближение к источнику пищи.

Огромное число исследований, проведенных в течение последнего десятилетия, приводят к вполне обоснованному выводу: шимпанзе, как и люди, обладают способностью моделировать ментальное состояние других особей, или, как формулирует это Майкл Томаселло, «они понимают, что и другие видят, слышат и знают многие вещи». Тем не менее те части нашего мозга, которые, как считается, отвечают за социальные взаимодействия, являются непропорционально большими в сравнении с другими приматами.

Мы можем проследить эволюционное увеличение человеческого мозга и в какой-то степени – его отдельных областей, изучая ископаемые черепа древних гоминид. Мозг нашего очень раннего предка был по своим размерам приблизительно равен мозгу шимпанзе. Живший 6–7 миллионов лет назад представитель гоминид (трибы *Hominini*), чадский сахелантроп (*Sahelanthropus tchadensis*, или просто Тумай, как любовно называют его археологи), обладал мозгом объемом около 350 мл. Средний объем мозга у афарского австралопитека (*Australopithecus afarensis*), обитавшего в Африке 3–4 миллиона лет назад, к которому отно-

сится и знаменитая Люси, составлял 440 мл, то есть КЭ этого существа был равен 2,5 – немногим больше, чем у ныне живущих человекообразных обезьян. Несмотря на то что мозг человека прямоходящего (*Homo erectus*), вида, жившего в Африке и Азии около 2 миллионов лет назад, сильно варьировал по размеру, его средний объем составлял приблизительно 910 мл, а КЭ был равен 3,7. Однако действительно значимый прирост массы мозга произошел в ходе эволюции человека сравнительно недавно. Приблизительно миллион лет назад – у гейдельбергского человека (*Homo heidelbergensis*), неандертальца, и у нас, людей разумных (*Homo sapiens*), когда мы вышли на сцену эволюции, средний объем мозга превзошел 1 л, а величина КЭ достигла современного уровня – 4–5.

Конечно, образование такого большого мозга не могло соответственно не сказаться на черепной коробке: человеческому черепу пришлось расшириться, чтобы вместить увеличившийся мозг. Мозговой отдел черепа у человека значительно превосходит размерами лицевой, чего нет ни у одного другого вида млекопитающих, даже у шимпанзе, у которых, в сравнении с другими приматами, достаточно крупный мозг. Мало того, черепу пришлось также изменить и форму, чтобы вместить увеличенные височные доли. Одним из следствий такого положения явилось образование базального угла между передней и задней частью основания черепа. Этот угол есть только у человека, именно он помогает нашему черепу вмещать столь большой мозг.

Эту ситуацию можно для наглядности проиллюстрировать следующей двухмерной моделью. Представьте себе полностью раскрытый испанский веер, наружные планки которого развернуты под углом 180°, составляя прямую линию. Для того чтобы сделать веер больше, можно добавить к нему несколько дополнительных пластин и раскрыть его, скажем, еще на 40°. Такой веер, конечно, будет не очень удобно держать в руке, но зато увеличение угла позволяет вместить лишнюю площадь. То же самое происходит и с основанием черепа. Появление в нем изгиба приводит к втягиванию лицевой части черепа, которая оказывается в положении под передней частью мозгового отдела черепа.

Притом что появление большого мозга оказало мощное влияние на форму нашего черепа, все же сам череп – это совсем недавнее приобретение в ходе эволюции, впервые появившееся у самых первых позвоночных животных. И эта древняя история тесно вплетена в картину эмбрионального развития нашего с вами черепа.

Череп и ощущения

Закладка фундамента для черепа и развитие органов чувств, воспринимающих окружающий мир

Ut imago est animi voltus sic indices oculi.
(Как лицо есть изображение души, так глаза – ее выражение)
(лат.).
Цицерон

Нервный гребень и происхождение черепа

На третьей неделе эмбрионального развития плода начинается формирование нервной трубки, которой со временем суждено превратиться в головной и спинной мозг. По мере того, как нервные валики по бокам нервной полоски приподнимаются, растут, а затем смыкаются, образуя нервную трубку, некоторые клетки на вершине каждой складки становятся весьма подвижными, готовясь сорваться с места. Как только валики смыкаются, эти клетки гребня снимаются с якоря и поднимают паруса, отправляясь в путь по небольшому телу эмбриона к местам своего назначения. Это настолько важная популяция клеток, что их иногда называют «четвертым зародышевым слоем»: есть эктодерма, мезодерма и энтодерма и, кроме того, нервный гребень. Его мигрирующие клетки распространяются по всему телу и формируют целый набор тканей, включая части надпочечных желез, мозговые оболочки и части черепа – точнее, кости лицевого отдела черепа. Все позвоночные – все рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, птицы или млекопитающие – обладают этим нервным гребнем в период эмбрионального развития. Череп – это такая же обязательная принадлежность позвоночных, как сам позвоночник, а клетки нервного гребня необходимы для формирования черепа.

Итак, вопрос заключается в следующем: откуда вдруг возникли нервные гребни – и черепа – при появлении первых позвоночных животных? Мы говорим об эволюции, а не о божественном творении, и, как справедливо замечают некоторые специалисты по биологии развития, «анатомические структуры возникают не из праха земного». Здесь на помощь приходит генетика. Маленькое животное – ланцетник – является хордовым, но не позвоночным. У ланцетника нет ни нервного гребня, ни черепа, и нет никаких оснований полагать, что эти образования были у таких древних предков позвоночных, как хайкоуэлла. Мы не можем проанализировать ДНК хайкоуэллы – это животное давно вымерло, но мы можем взглянуть на гены живых ее сородичей – ланцетников. Несмотря на то что ныне живущих ланцетников и хайкоуэллу разделяют 530 миллионов лет, ланцетник на самом деле выглядит как «живое ископаемое», и маловероятно, что у кого-то из предков ланцетника сначала появились, а затем пропали такие признаки позвоночного животного, как нервный гребень и череп. Гораздо более вероятно, что ни нервный гребень, ни череп никогда и не служили характерными чертами представителей огромной череды поколений, отделяющих кембрийских предков позвоночных от ланцетника. Это означает, что гены нервного гребня должны начисто отсутствовать в геноме ланцетника. Если мы хотим найти гены, делающие позвоночных позвоночными, то истинная ценность ланцетника заключается именно в их отсутствии.

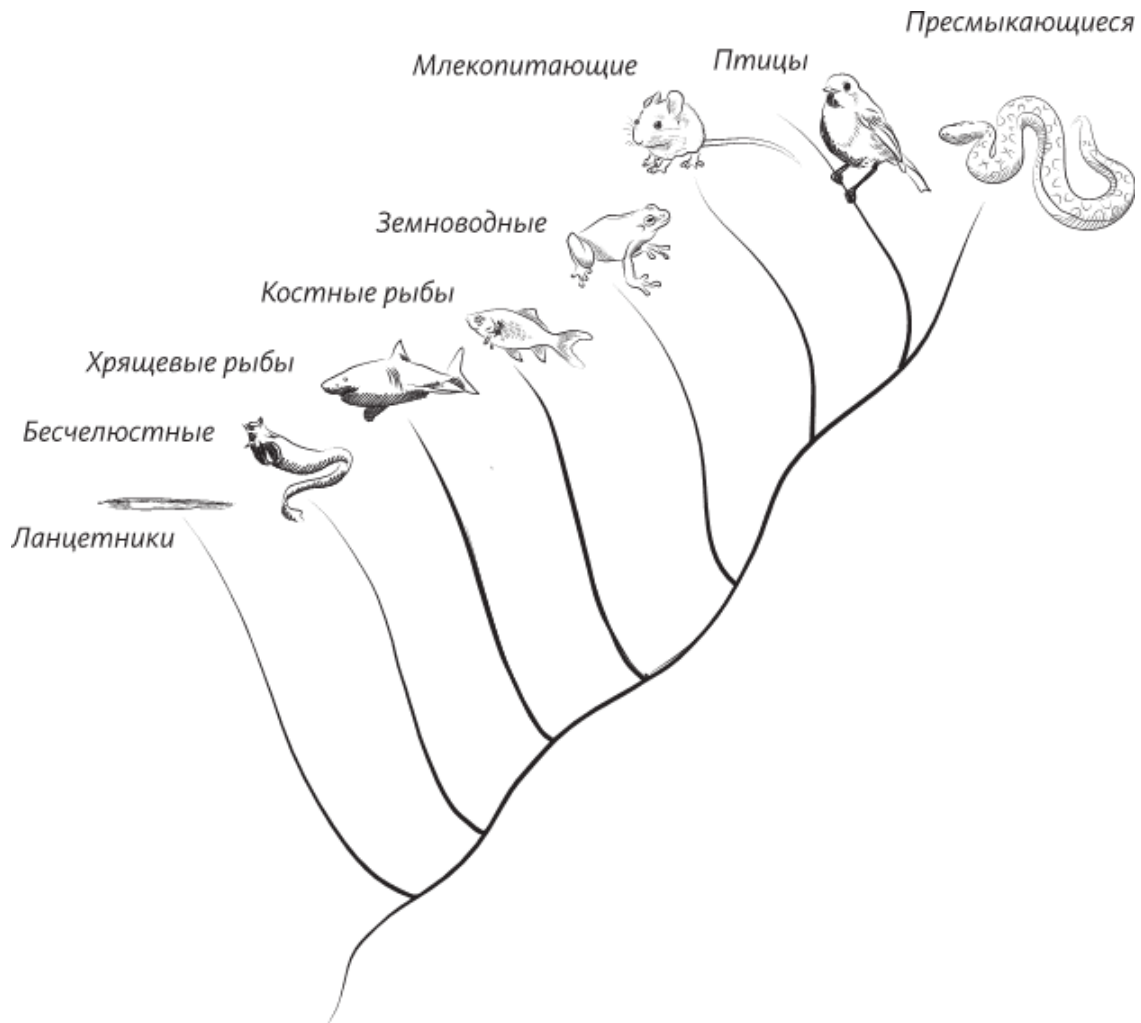
Для того чтобы выяснить, какие генетические изменения привели к включению программы образования нервного гребня или черепа, лучше всего было сравнить ланцетника с относительно простым позвоночным животным. (Нам совершенно не нужны генетические изменения, которые привели, например, к образованию конечностей в ходе эволюции позво-

ночных; это лишь усложняло бы картину.) Первыми позвоночными животными были бесчелюстные (*Agnatha*). Эта архаичная группа животных давно вымерла за исключением двух групп: миног и миксин.

Миноги приобрели сомнительную известность, так как стали последним, фатальным блюдом короля Генриха I, если верить средневековому историку Генри Хантингдонскому. Генрих I был сыном Вильгельма Завоевателя и стал королем в 1100 году, после того как его старший брат случайно погиб на охоте. Генрих I правил 35 лет, и в 68-летнем возрасте, очевидно вопреки советам своего лейб-медика, однажды съел слишком много миног, на следующий день заболел, а через неделю умер. Нам такие пищевые пристрастия могут показаться странными, но миноги считались деликатесом у древних римлян, а потом и у средневековых аристократов. В Твиттере я вежливо осведомилась у друзей, ел ли кто-нибудь из них миног и каковы они на вкус. Я получила множество ответов: «похоже на угря», «пахнет илом», «на вкус как курятина», «не лучше мыла» – и поэтому, видимо, так никогда и не смогу узнать вкус миноги, потому что речная минога считается в Великобритании видом, которому грозит исчезновение. Но в Японии минога таким видом не считается. Мой друг, историк Нил Оливер, ответил мне блестящим твитом: «Можешь мне не поверить, но миногу подавали на банкете у господина Сацумы, сёгуна, в его доме в Кагосиме».

Некоторые виды миног обитают в реках, другие в морях, и с виду они похожи на угрей: тело их длинное (до 1 м) и гибкое, и у них нет чешуи. В отличие от угрей у миног отсутствуют челюсти. Рот миноги напоминает миниатюрную версию пасти сарлакка на дне ямы Каркуна в VI эпизоде «Звездных войн. Возвращение джедая». (Они действительно так похожи, что мне показалось, будто художник фильма, увидев миногу, подумал, что ее рот выглядит достаточно кошмарно, чтобы наградить таким же страшного инопланетянина.)

Так как у этих животных нет челюстей, то они достаточно привередливы в выборе пищи. Ранние бесчелюстные фильтровали планктон, но у современных миног сформировались весьма отталкивающие пищевые привычки. Миноги – паразитические кровососущие животные: они вцепляются в жертву своими круглыми ртами, усаженными острыми зубами. Кузины миног, миксины, тоже достаточно мерзкие твари: от зубов охотящихся за ними хищников они ускользают, выделяя огромное количество вязкой слизи из расположенных на боках тела желез, а на своих жертв – рыб нападают ночью, прогрызают в их теле дырку и, проникнув внутрь, поедают сначала внутренности, а потом и мышцы.



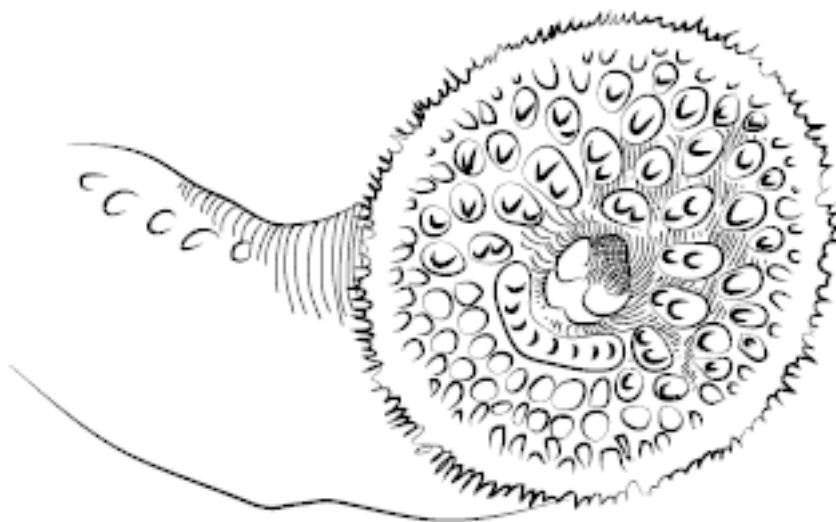
Филогенетическое древо (самые ранние предки в нижней части рисунка) позвоночных, их ближайших сородичей бесчелюстных (включая миног) и более отдаленных родственников – ланцетников

Пусть современные бесчелюстные обладают весьма отвратительными чертами, но они тем не менее позвоночные, а значит, у них есть череп. Во всяком случае, у взрослых особей; у личинки миноги черепа нет, и вообще эта личинка очень похожа на ланцетника. Так, у личинок миноги есть (так же, как и у ланцетника) жаберные щели, полая нервная трубка, тянущаяся вдоль спины, и хвост, расположенный позади заднего прохода – то есть имеют место все признаки хордового животного. Однако после превращения личинки во взрослую особь у миноги развивается внутренний хрящевой скелет, включая и позвонки, а также мозговой череп – признаки позвоночного животного.

При сравнении геномов ланцетника и миноги была выявлена разница между ними. Решение этой задачи похоже на головоломку с рисунками: «Найди десять отличий». Разница в составе геномов позволяет миноге претерпеть невероятную трансформацию, превращение типично хордового в существо с позвоночником и черепом.

Так же как анатомические структуры не появляются ниоткуда, не появляются ниоткуда и новые гены. Они должны *откуда-то* браться, и новые гены обычно появляются за счет удвоения (дупликации) уже существующих, благодаря ошибкам в ходе репликации ДНК. При анализе генома становится ясно, что крупные участки ДНК удвоились по ходу эволюционного развития позвоночных от предковых форм. Так, например, у млекопитающих в ДНК имеют место четыре кластера гомеозисных генов, отвечающих за формирование органов и тканей

(гены кластера *Hox*), а у ланцетников такой кластер только один. Ланцетник – живой реликт древних предков позвоночных, – и ему хватает для органогенеза одного набора гомеозисных генов. Развитие началось после того, как эти кластеры удвоились.



Минога

При появлении в геноме дубликата каких-то генов могут произойти несколько вещей. Иногда одна копия оказывается просто лишней, дегенерирует, а иногда и просто исчезает. Но существует и другая, более интересная возможность: один ген продолжает выполнять свою старую функцию, а дубликат может начать делать что-то новенькое. Правда, гены могут выполнять больше одной функции; например, они могут включаться в разные периоды развития организма и каждый раз менять свою функцию. Поэтому третья возможная судьба – это образование двух вариантов одного гена, которые тем не менее начинают исполнять разные функции, превращаясь таким образом в разные и независимые друг от друга гены. Оба они становятся необходимыми, и ни один из них не дегенерирует – они просто развиваются в разных направлениях, беря на себя новые функции.

Когда у развивающегося эмбриона ланцетника возникает нервная трубка, на ней обособляется группа клеток, *сильно напоминающих* клетки нервного гребня эмбрионов позвоночных животных – эти клетки находятся в подобных же местах и даже начинают мигрировать в процессе эмбрионального роста, но далеко они не уходят. Образуются эти клетки под влиянием сходных генов. Разница между этими клетками и клетками истинного нервного гребня обусловлена разными наборами удвоенных генов. Среди них есть ген, называемый *FOXD3*. В геноме ланцетника есть только одна копия – *FOXD*, а у позвоночных таких копий – четыре или пять. В ростральном конце нервной трубки ланцетника гены *FOXD* неактивны, но у миног и других позвоночных гены *FOXD3* весьма активны в этой области. Судя по всему, этот ген «сообщает» нервному гребню, что он собой представляет, и направляет миграцию его клеток по организму.

Миллионы лет назад несколько активных удвоенных генов, взяв на себя дополнительную роль в развитии эмбриона, привели к эволюции позвоночных, завершившейся возникновением нервного гребня и черепа. Сравнительно недавно эти же гены здорово постарались, чтобы из некоего эмбриона в результате получились именно вы. Клетки гребня нервного желобка отвечают на генетические сигналы, неотличимые от сигналов, которыми пользовались эмбрионы наших самых отдаленных предков – первых позвоночных. У каждой из этих клеток из тела выпячивается отросток (псевдоподия), похожий на псевдоподии амебы, а затем клетка

гребня медленно начинает ползти, разделяя на своем пути скопления клеток промежуточного слоя зародышевого диска.

Некоторые клетки мигрируют на совсем короткое расстояние, оставаясь вблизи спинного мозга, – из них формируются нервные узлы – ганглии – чувствительных нервных клеток. Другие клетки уползают на шею, а затем на время становятся неактивными, ожидая момента, когда они превратятся в секретирующие гормоны клетки щитовидной железы. Третьи оказываются в месте образования будущего рта, где они участвуют в формировании зубов. Четвертые клетки нервного гребня оказываются в перегородке, разделяющей крупные сосуды грудной клетки. Есть клетки нервного гребня, трансформирующиеся в клетки мозгового слоя надпочечников, из которых впоследствии образуются клетки, секретирующие гормон адреналин. Некоторые клетки нервного гребня нагружаются жиром и становятся листками, обертывающими и изолирующими нервные волокна. Некоторые клетки совершают очень дальнее путешествие и оседают в коже, давая начало пигментным клеткам. Очень много клеток нервного гребня оказываются в голове, где откладываются в основании формирующегося черепа. Без нервного гребня у нас не было бы лица.

Возьмите любой приличный учебник эмбриологии, и вы найдете там длинный список всех тканей взрослого организма, образующихся из клеток нервного гребня. Правда, открытие и исследование маршрутов этих клеток представляло собой нелегкую как в научном, так и в техническом плане задачу.

В 1893 году Джулия Платт, посвятившая изучению эмбриологии девять лет – сначала в Гарварде (США), а потом во Фрейбурге (Германия), опубликовала статью, в которой утверждала, что у эмбриона саламандры некоторые хрящи черепа формируются из клеток нервного гребня. В то время это было весьма смелое заявление, потому что считалось, что все хрящи и кости происходят из мезодермы, среднего слоя зародышевого диска. Все знали, что эктодерма (слой, из которого развивается нервный гребень) формирует эпидермис и нервные структуры. Предполагать что-то иное было просто немыслимо, так как подобные идеи представлялись смехотворными. О чем вообще говорит эта калифорнийская дама? В эмбриологической литературе поднялся шквал абсолютно неконструктивной критики. Один эмбриолог даже предположил, что мисс Платт, видимо, не слишком аккуратно готовила свои препараты. Правда, в конце концов выяснилось, что Джулия Платт была все же права, но это не спасло от краха ее научную карьеру, которая завершилась в 1898 году после окончания работы над докторской диссертацией.

Отчасти причина, по которой в научном сообществе возникли сомнения относительно утверждений Джулии Платт, заключалась в том, что она сосредоточила свое внимание на небольших различиях во внешнем виде клеток развивающегося эмбриона. Различия были настолько незначительны, что некоторые сомневались в том, что они вообще существуют. Джулия Платт исследовала под микроскопом тонкие срезы эмбриона саламандры, и была уверена, что видела разницу между клетками, происходившими из эктодермы, и клетками – производными мезодермы и энтодермы. На первый взгляд кажется, что различить их очень трудно, но таким методом пользовались и все другие эмбриологи: эктодермальные клетки (включая клетки нервного гребня) были мельче клеток мезодермы и содержали гранулы коричневого пигмента. Правда, исследование опиралось на визуальное изучение различных эмбрионов разных возрастов, и это делалось для того, чтобы реконструировать миграцию клеток нервного гребня. Как могли эмбриологи быть уверенными, что, рассматривая разные эмбрионы, они видят одни и те же клетки?

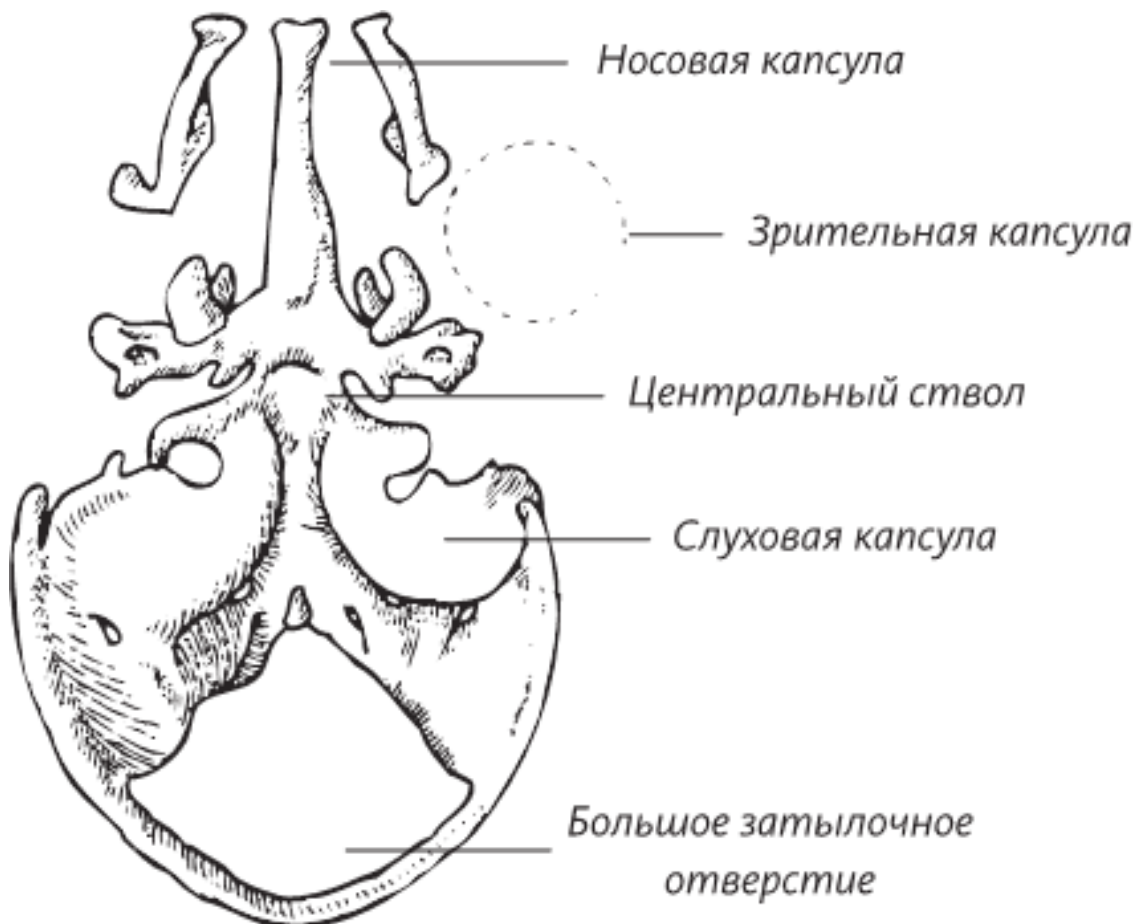
Проследить судьбу клеток стало легче после того, как в практику научных исследований был внедрен метод составления карт зачатков, или карт судьбы. Звучит как нечто магическое, но речь идет вовсе не о гадании на хрустальных шарах. Эмбриологи вводят красители в живые клетки эмбриона, а затем смотрят, где в конце концов эти клетки окажутся. В 1920-

х годах эмбриологи окрашивали клетки в синий или красный цвет. В конце 1970-х появились многочисленные флуоресцентные красители, а к 1980-м эмбриологи создали генетически модифицированные эмбрионы с клетками, которые эффективно «сами окрашивались» в различные флуоресцирующие цвета (это была технология, которая в конце концов развилась в уже упомянутую выше методику «мозговой радуги» (Brainbow). Теперь стало возможно пометить клетки нервного гребня и посмотреть, куда они мигрируют. Эмбриологи наблюдали, как клетки гребня тронулись в путь и устремились к передней части головы, чтобы заложить там фундамент костей свода черепа, включая лобные кости и верхнюю и нижнюю челюсти. Теперь им оставалось только одно – превратиться в костную ткань.

Появление черепа

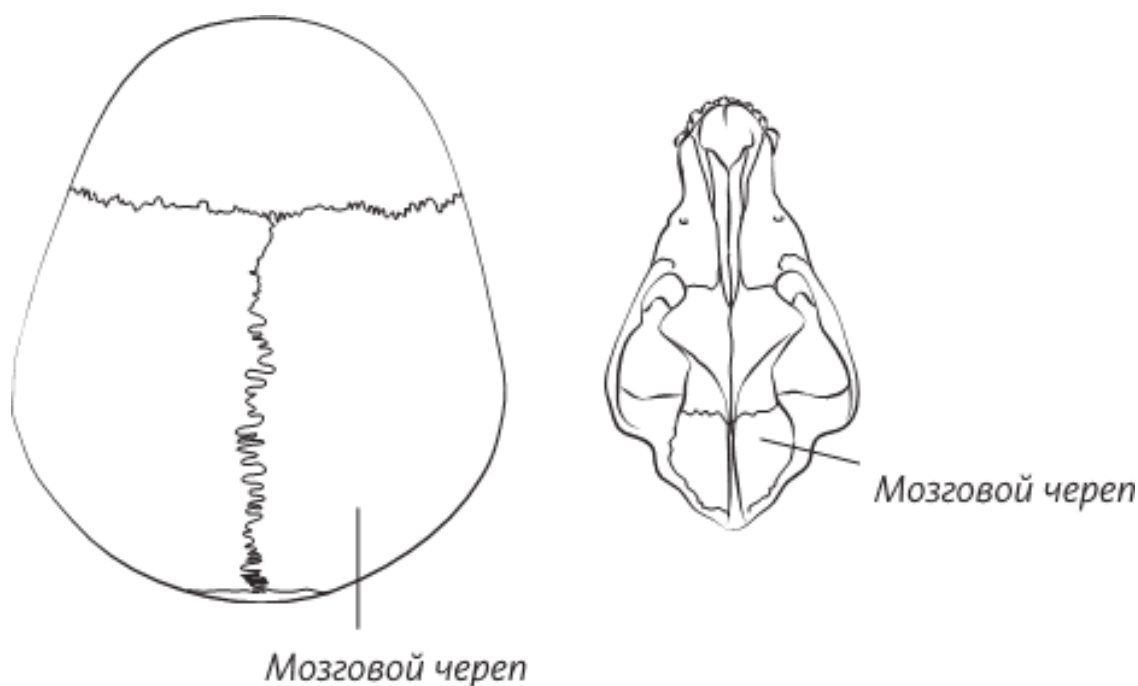
Представьте себе, что вы находитесь в своем развитии на стадии трехслойного эмбриона, при этом клетки среднего мезодермального слоя вместе с мигрировавшими клетками нервного гребня формируют на головном конце особый тип эмбриональной ткани, называемой мезенхимой. Мезенхимные клетки пока еще «не решили», во что они хотели бы превратиться, и поэтому они просто растут. Такие клетки называют недифференцированными. Большинству из них в скором времени предстоит стать костями, мышцами, хрящами или клетками крови. Однако немногие недифференцированные стволовые клетки будут и дальше пребывать в нерешительности. Такие клетки присутствуют и во взрослом организме – в костном мозге и в жировой ткани, – являясь источником восполнения клеток. Отдельная область медицины – регенеративная медицина – целиком основана на возможности использования «мезенхимных стволовых клеток» для устранения дефектов и повреждений.

Большинство мезенхимных клеток, которым предстоит стать клетками костной ткани, сначала становятся клетками ткани хрящевой. В том месте, которое вскоре станет основанием черепа, мезенхима образует островки хряща. Эти островки объединяются, а затем превращаются в кость. Такой способ создания костей по первоначальной хрящевой «модели» является самой распространенной формой окостенения (окостенения) эмбрионального скелета: позвоночник, ребра, грудина и все кости конечностей, не считая ключицы, образуются именно так.



Хрящевой череп (хрящевое основание черепа) человеческого эмбриона

В развитии черепа мы видим еще один пример того, что Дарвин назвал «законом зародышевого сходства» (1859). У взрослого человека череп выглядит совершенно не так, как у большинства остальных млекопитающих. Однако, если сравнить хрящевую модель основания эмбрионального человеческого черепа с развивающимися черепами других млекопитающих, то выявляется просто разительное сходство. Основание эмбрионального черепа состоит из трех пар капсул, которые содержат носовую полость, глазницу и ухо. У многих других млекопитающих эти отделы легко различимы и на черепе взрослых особей: носовая капсула выступает вперед, образуя морду. Мозговой череп мал, компактен и располагается на слуховых капсулах, в которых находятся анатомические структуры уха. Напротив, наш мозговой череп вырастает таким крупным, что если мы посмотрим на него сверху, то не увидим ничего, кроме этого мозгового черепа. Наши глаза спрятаны под передней частью мозгового черепа; наш наружный нос очень короткий и совсем не похож на морду животного, а вся полость носа тоже надежно спрятана под мозговым черепом.

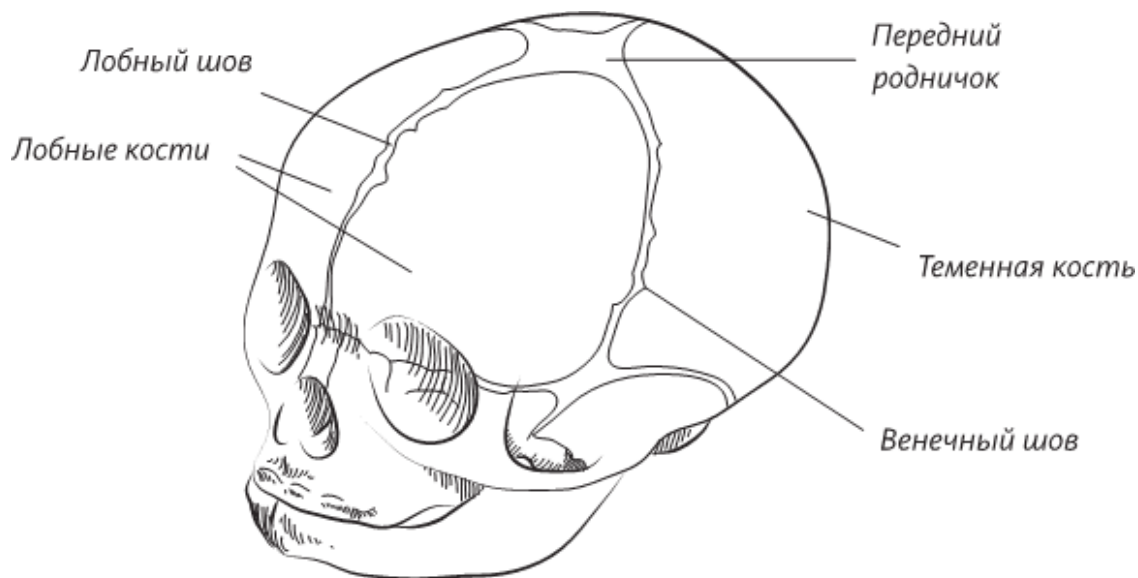


Череп человека и череп собаки (вид сверху)

Большая часть костей нашего скелета развивается точно так же, как кости основания черепа, – сначала мезенхимные клетки превращаются в хрящевые, образуя хрящевую модель будущей кости, в которую затем и превращается хрящ. Однако свод черепа, образующий крышу мозгового черепа, вместе с частью лицевого скелета и ключицей формируются как твердые кости непосредственно из мезенхимы.

В мезенхиме, расположенной над развивающимся мозгом, дифференцируются костные клетки, образующие иглы костного матрикса, содержащего смесь белка и минеральных веществ кости. Иглы постепенно растут в радиальном направлении от центров окостенения, но все же в момент рождения кости черепа слегка отделены друг от друга, соединяясь волокнистыми перепонками. В месте соприкосновения двух костей виден шов. Там, где в одном месте встречаются несколько костей, образуются покрытые мембранами отверстия, называемые родничками. Это «мягкие места» младенческого черепа – большой родничок находится спереди, там, где соседствуют лобная и теменные кости, и малый родничок, расположенный сзади в месте соединения затылочной и теменных костей. Эти фиброзные суставы между костями черепа позволяют им немного накладываться друг на друга при продвижении новорожденного

по родовым путям, что облегчает прохождение головки новорожденного (диаметром 9 см) через выход из таза (диаметром 10 см). Поэтому в момент рождения головка новорожденного иногда выглядит довольно причудливо. Правда, на следующий день кости становятся на свои обычные места, и головка делается, как ей и положено, круглой. Фиброзные швы между плоскими костями свода черепа остаются открытыми на время роста головы, что позволяет черепу расширяться. На самом деле швы очень важны для роста черепа – потому что именно в области швов и происходит собственно рост, так как новые костные клетки образуются из мембран, соединяющих края плоских костей и прикрывающих роднички.



Швы и роднички на черепе новорожденного

Швы и роднички на черепе новорожденного

Формы черепа

Череп новорожденного младенца очень податлив. Его можно легко деформировать – случайно или преднамеренно. Преднамеренную деформацию детских черепов практиковали в Древнем Египте, Древней Греции, Перу и Австралии. Причудливая форма черепа должна была свидетельствовать о социальном статусе его обладателя, о его титуле, принадлежности к определенной группе. Деформированный череп был знаком принадлежности к политической или военной элите. Голова египетского фараона Эхнатона, похоже, была деформирована в результате заболевания, но скульптурные портреты его супруги Нефертити позволяют предположить, что ее череп имел удлиненную коническую форму. На мумиях Тутанхамона и его матери также заметны следы конической деформации черепа. На изображениях видно, что у всех фараонов продолговатые черепа, и видно, что это не дань художественной моде того времени – черепа египетских фараонов действительно были целенаправленно деформированы.

Древние аборигены Центральной Америки сжимали головы своих младенцев двумя кусками дерева, приложенными ко лбу и затылку, чтобы сделать голову более плоской в передне-заднем направлении. В результате голова ребенка начинала расти вверх. Исторические культуры Европы, Азии и Африки тоже известны обычаями наложения давящих повязок на головы детей для придания им желаемой конической формы. В статье, недавно опубликованной в научном журнале «Клиническая анатомия» (Clinical Anatomy), клиницистам напоминают, что странная форма детских черепов даже в наше время может быть следствием целенаправленного воздействия на голову ребенка в соответствии с какими-то традициями. Примечательно, что не далее как в 1994 году была опубликована книга, озаглавленная: «Красивый ребенок: руководство по приданию детским головкам нужной формы» (Baby Beautiful: a Handbook of Baby Head Shaping).

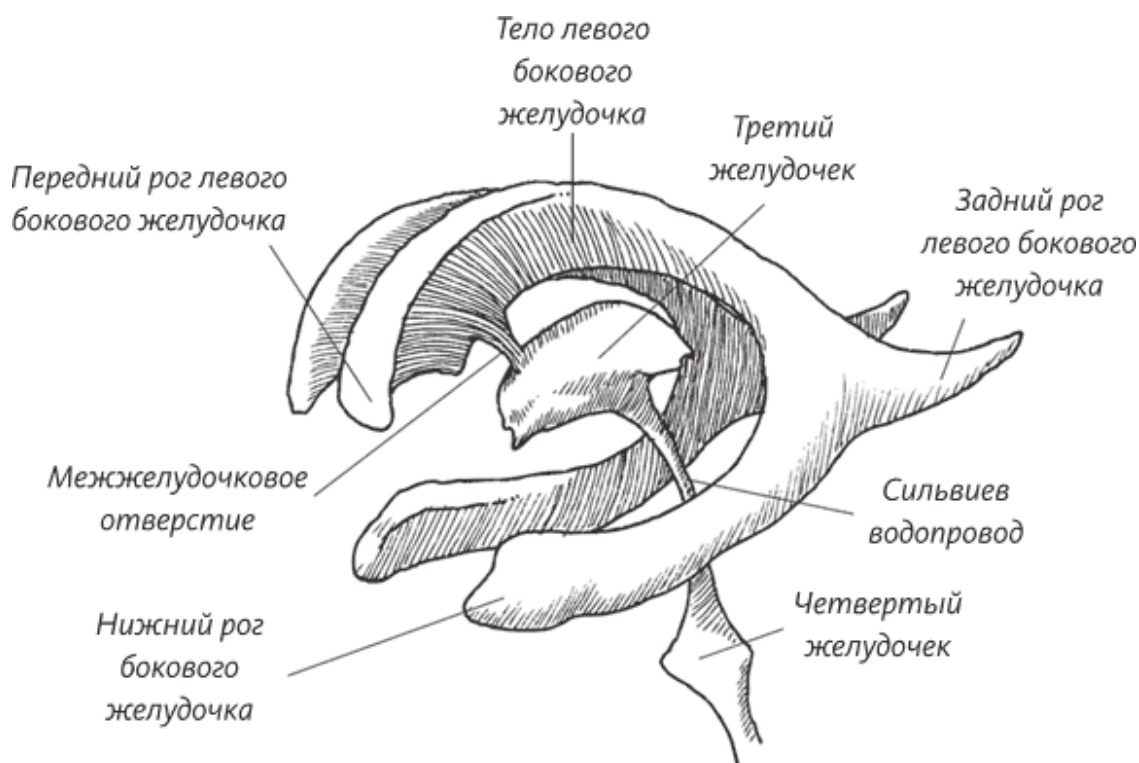
Случайные деформации детских черепов были широко распространены среди коренных жителей Америки, у которых в ходу были особые доски для переноски младенцев, которых крепко к ним привязывали, что зачастую приводило к уплощению затылка. С начала 1990-х подобное явление стали наблюдать после того, как молодым родителям (особенно в США и Великобритании) стали рекомендовать укладывать младенцев спать на спину. Кампания «спать на спине» пользовалась большим успехом, так как резко сократила число внезапных детских смертей, но, помимо этого, она привела к снижению частоты уплощения лбов. Правда, теперь стало больше детей с уплощением затылка, но, к счастью, это изменение оказалось проходящим.



Статуя Эхнатона (слева) и скульптурное изображение головы одной из дочерей Эхнатона и его супруги Нефертити (справа)

Тем не менее никакие деформации черепа – будь то случайные или преднамеренные – не оказывают никакого влияния на формирование головного мозга в полости черепа. Реальные проблемы, однако, возникают в случаях преждевременного закрытия швов, что ограничивает рост черепа. Раннее закрытие сагиттального (продольного) шва означает, что череп не может расти в ширину и может расти только вперед и назад, становясь длинным и узким. Преждевременное зарастание венечного шва приводит к ограничению роста в передне-заднем направлении, и в качестве компенсации череп становится более высоким.

Несмотря на то что кость представляется жестким образованием из неподатливой ткани – а зрелая кость именно такова, – давление, оказываемое на свод черепа изнутри, влияет на форму костей свода черепа по мере их роста. Это хорошо видно, когда преждевременно зарастают швы, а также в тех случаях, когда внутричерепное давление оказывается слишком высоким. При гидроцефалии (водянке головного мозга) избыток цереброспинальной жидкости создает повышенное давление, буквально раздувая свод черепа. Эта патология возникает в конечном счете в результате того, что в эмбриональном периоде головной мозг формируется из полый нервной трубки. По мере развития головного мозга пространство внутри трубки преобразуется в ряд последовательно сообщающихся камер или желудочков, наполненных цереброспинальной жидкостью (ЦСЖ).



Желудочки человеческого мозга в норме

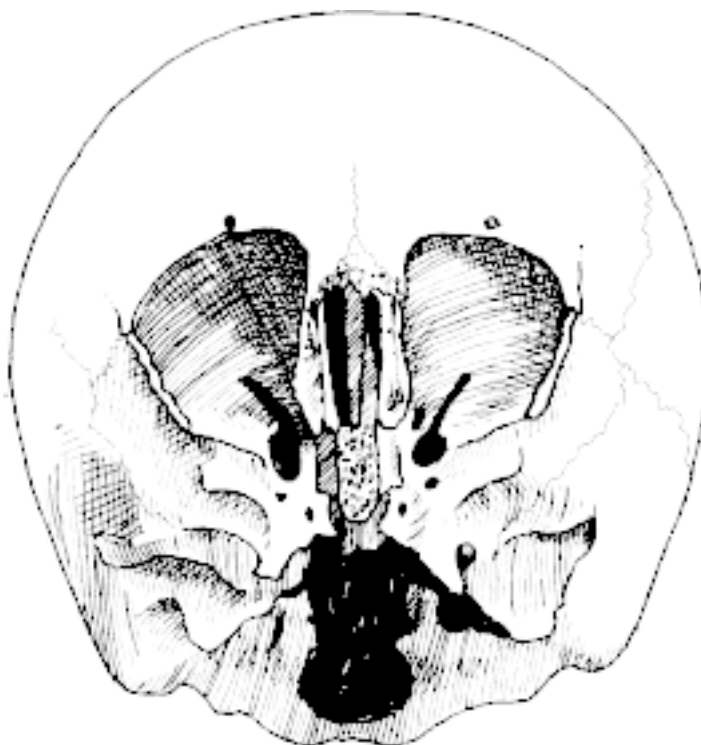
Некоторые каналы, соединяющие желудочки мозга между собой или с каналом спинного мозга, могут быть очень узкими или вообще закупориваться, что приводит к накоплению в желудочках цереброспинальной жидкости. Это состояние можно лечить хирургически: в полость переполненных желудочков вводят трубку, другой конец которой выводят в другую полость тела, как правило в брюшную; в некоторых случаях в основании мозга проделывают небольшое отверстие, чтобы обеспечить отток лишней жидкости.

В 1999 году известный исследователь паранормальных явлений Ллойд Пай заявил, что странный череп, обнаруженный в 1930 году в некой заброшенной мексиканской шахте, возможно, принадлежал ребенку, рожденному земной женщиной от инопланетянина. В выложенном в YouTube видео Пай описывает череп «звездного мальчика» как «не имеющий практически ничего общего с человеческим черепом». Пай приводит мнение одного канадского специалиста по челюстно-лицевой хирургии, который якобы сказал, что за все время работы ему не приходилось видеть такого деформированного черепа, тем не менее едва ли это может служить основанием для того, чтобы допустить его внеземное происхождение. У черепа отсутствует верхняя челюсть, что делает его абсолютно необычным, на взгляд неспециалиста. Да, череп действительно необычен, но он больше похож на череп ребенка, страдавшего тяжелой гидроцефалией, от которой ребенок, судя по всему, и умер. Это не волнующая история об инопланетных пришельцах, а печальная земная история. Череп «звездного мальчика» – это череп брошенного ребенка, которого привело к смерти отсутствие адекватной медицинской помощи.

Наложение давящих повязок на голову и гидроцефалия могут приводить к деформации черепа, но и форма нормального черепа может многое сказать о его владельце. Черепа варьируют по форме и размерам в зависимости от принадлежности к определенной популяции или к определенному полу.

Типичный мужской европейский череп обладает выраженным надбровным валиком. В профиль такой череп имеет впадину между валиком и выступающими носовыми костями. На задней поверхности черепа, на затылочной кости, виден выступающий гребень, который называется затылочным возвышением. Его легко прощупать на затылке мужчины. У лысого или

наголо выбритого мужчины это возвышение можно даже увидеть. Гребень с обеих сторон изгибается к срединной линии возвышения, образуя картину, похожую на схематическое изображение чайки. Под ухом есть еще один, направленный книзу выступ – сосцевидный отросток височной кости. Этот отросток легко прощупывается под мочкой уха. У мужчин этот отросток намного массивнее, чем у женщин. Сосцевидный отросток и большое затылочное возвышение – это места прикрепления мышц к черепу. К сосцевидному отростку прикрепляется длинная, идущая косо по поверхности шеи грудино-ключично-сосцевидная мышца. При повороте головы в сторону эта мышца отчетливо выступает на противоположной стороне шеи – собственно, сокращение этой мышцы и приводит к повороту головы. Затылочное возвышение вместе с гребнями по обе стороны от возвышения служит местом прикрепления мышц задней части шеи, включая и похожую на воздушного змея трапециевидную мышцу.

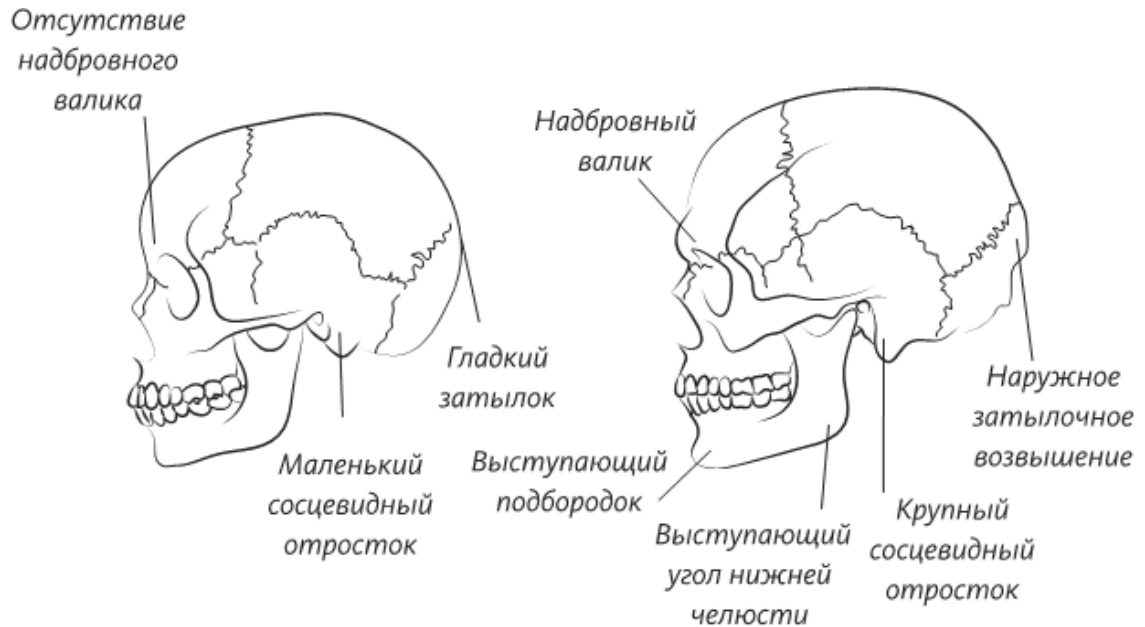


Череп «звездного мальчика»

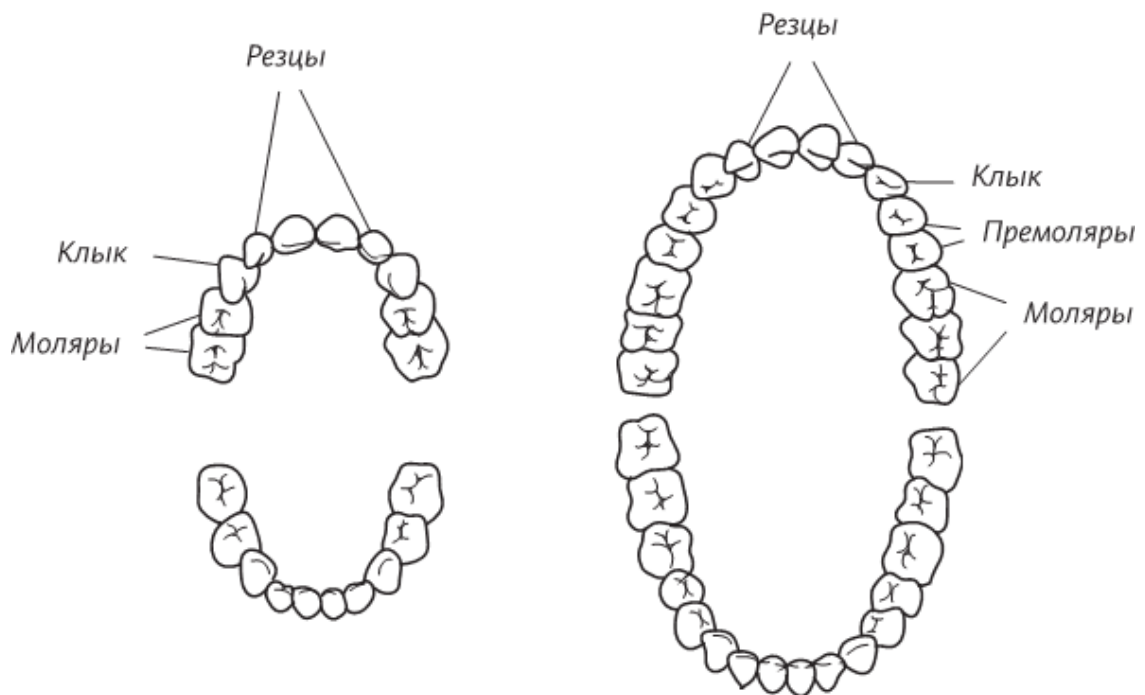
Женский череп выглядит более хрупким и нежным. Все признаки мужского черепа есть и у женщин, но выражены они слабее. Надбровных валиков практически нет, или они очень слабо выражены. Линия лба плавно переходит в линию носа. Сосцевидный отросток мал и компактен, а задняя поверхность затылочной кости выглядит гладкой и круглой с едва заметным возвышением, к которому прикрепляются мышцы заднего отдела шеи.

Когда я рассматриваю найденный археологами скелет и стараюсь определить пол взрослого человека, настоящим даром является хорошо сохранившийся череп. Даже если отсутствуют тазовые кости или они фрагментированы, то по черепу всегда можно определить, кому принадлежал скелет – мужчине или женщине. По зубам, кроме того, можно определить возраст человека в момент смерти. Если зубной набор незрелый, то возраст установить очень легко, потому что разные зубы формируются и прорезаются в разные возрастные периоды в жестко определенной последовательности. К трехлетнему возрасту во рту младенца присутствуют двадцать молочных зубов; в каждом квадранте (то есть в половине челюсти) есть два резца, один клык и два коренных зуба (моляра). Через три года ребенок начинает терять эти зубы, и на их месте прорезаются постоянные зубы: их в конце концов будет тридцать два, включая и третьи

моляры (зубы мудрости), если, конечно, вы не принадлежите к 10–20 % населения, у которых не прорезаются третьи моляры. Детские резцы и клыки сменяются более крупными резцами и клыками, а детские моляры сменяются премолярами (малыми коренными зубами) с двумя бугорками на жевательной поверхности, а за премолярами следуют три взрослых моляра (больших коренных зуба), которые занимают места на выросших челюстях позади молочных зубов. Первый постоянный большой коренной зуб прорезается приблизительно в шесть лет, второй в двенадцать, а третий – в восемнадцать.



Половые различия человеческих черепов: женского (слева) и мужского (справа)

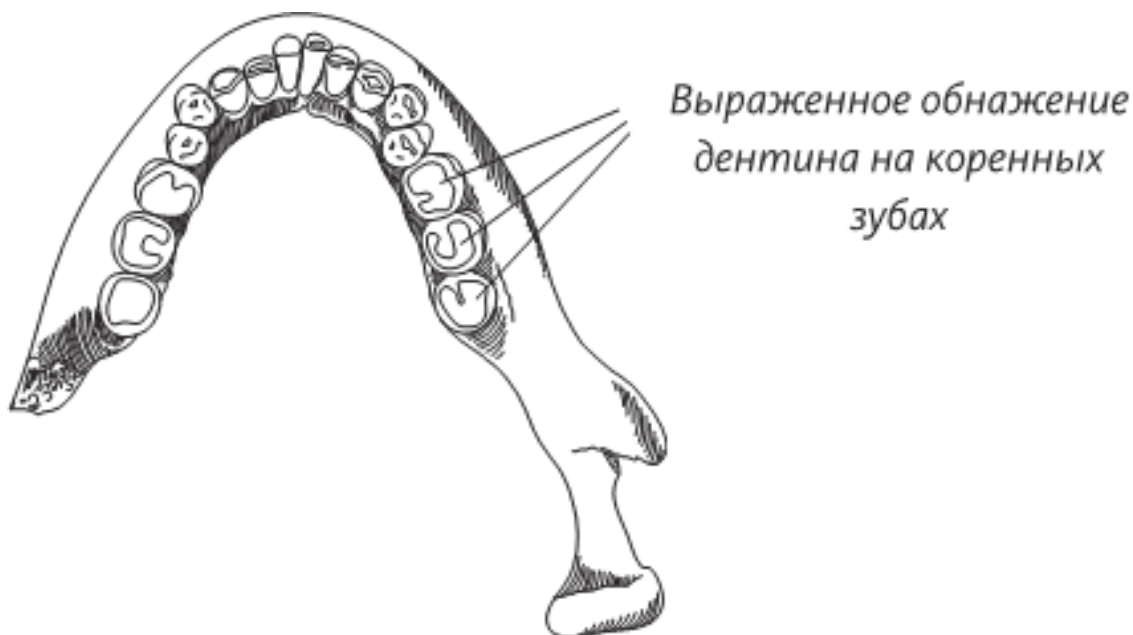


Молочные (слева) и постоянные (справа) зубы

После прорезывания всех постоянных зубов определять возраст человека по черепу становится труднее. Можно, однако, составить, пусть даже весьма приблизительное, представле-

ние о возрасте человека, глядя на состояние швов, соединяющих плоские кости свода черепа. В момент рождения эти швы широко раскрыты и заполнены соединительнотканными мембранами, в детстве они становятся уже, так как кости сближаются и начинают примыкать друг к другу, хотя все еще разделены слоем фиброзной соединительной ткани. У взрослых людей соединительнотканная перепонка в конце концов исчезает, а кости сливаются друг с другом, срастаясь в одно целое. К сожалению, срастание швов свода черепа не подчиняется таким строгим закономерностям, как прорезывание зубов, и судить о возрасте по швам можно, как уже было сказано, лишь приблизительно. Зубы, таким образом, очень ценны, особенно при археологическом исследовании ископаемых останков человеческих скелетов.

Сейчас мы едим мягкую, обработанную пищу, и наши зубы стираются не так быстро, как у предков, питание которых было более грубым. Достаточно сказать, что в хлебе часто попадалась мелкая пыль от каменных жерновов. Несмотря на то что эмаль – это самое твердое и прочное вещество в человеческом организме, способное перетирать самую грубую пищу, она все же со временем изнашивается, обнажая дентин – ядро зуба, и поэтому показателем возраста может служить степень стертости зубной эмали. Дентин обнажается в первую очередь на концах зубов, вдоль режущих краев резцов и на бугорках премоляров и моляров. Идут годы, у моляров постепенно стираются и исчезают бугорки жевательной поверхности. Поверхность становится ровной и представлена дентином, так как одновременно с бугорками стирается и эмаль, которая сохраняется лишь в виде ободка вокруг боковой поверхности. Зуб может стереться до такой степени, что эмаль полностью исчезает, а от зуба остается лишь небольшой выступ над корнем. Я – современный человек, и мой рацион не такой грубый, каким он был бы, живи я несколько столетий назад. Тем не менее, когда я чищу зубы, я иногда смотрю на них в зеркало и вижу, что бугорки на коренных зубах пока выражены очень хорошо, но зато на краях резцов уже проступила узкая полоска дентина. То есть мои зубы медленно, но верно стираются. Так что имеет смысл и вам оценить состояние своих зубов.



Челюсть из средневекового захоронения. Видно сильное стирание зубов, что позволяет предположить, что смерть этого человека наступила в возрасте 35–45 лет

Слух

Череп и зубы чрезвычайно полезны, так как помогают антропологам определять возраст и пол людей, которым принадлежали те или иные элементы скелета. Когда в нашу лабораторию поступает хорошо сохранившийся череп, я понимаю, что у меня есть неплохой шанс выяснить пол и возраст его умершего обладателя, но я редко могу устоять перед искушением исследовать и самые мелкие косточки человеческого тела. Эти косточки бесполезны в смысле определения возраста или половой принадлежности, но они восхитительны сами по себе.

Сначала я осторожно исследую костный наружный слуховой проход с помощью зубной кюретки (этим инструментом стоматологи удаляют у своих пациентов зубной налет), а затем осторожно вытряхиваю содержимое уха на подставленную ладонь. Среди сухой пыли и песка я кончиком пальца нащупываю три крошечные косточки – молоточек (*malleus*), наковальню (*incus*) и стремя (*stapes*). Молоточек имеет в длину около 9 мм, а маленькое стремя – всего 3 мм. Всякий раз я испытываю удивление, что эти косточки-малютки вообще сохранились, но тем не менее они сохраняются, и довольно часто. В живом организме эти косточки соединены друг с другом мельчайшими суставами и связками. Система слуховых косточек служит для преобразования колебаний воздуха в колебания жидкости.

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.