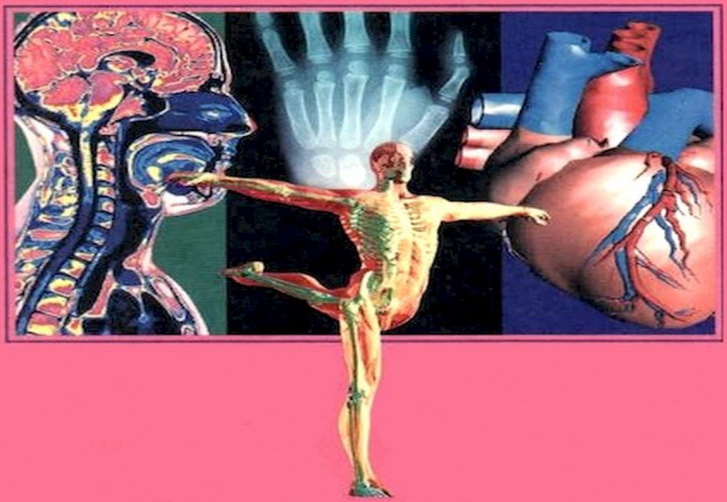
Айзек Азимов

ПОПУЛЯРНАЯ АНАТОМИЯ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА



Строение и функции человеческого тела



ЦЕНТРПОЛИГРАФ

Популярная анатомия. Строение и функции человеческого тела

Айзек Азимов

Аннотация
Айзек Азимов. Популярная анатомия. Строение и функции человеческого тела
Глава 1. Наше место в мире
  Отличительные особенности
  Типы
  Развитие типов
  Хордовые
  Позвоночные
Глава 2. Голова и туловище
  Позвоночный столб
  Позвоночник и ребра
  Череп
  Зубы
Глава 3. Конечности и суставы
  Руки
  Ноги
  Клетки
  Структура костей
  Строение зубов
  Движение костей

Глава 4. Мышцы
Живое движение
Сокращение мышц
Полосатые мышцы
Сухожилия
Мышцы в действии
Некоторые отдельные мышцы
Глава 5. Легкие
Подача кислорода
Нос и горло
Голос
Бронхиальное дерево
Дыхание
Глава 6. Сердце и артерии
Внутренняя жидкость
Кровообращение
Сердцебиение
Кровяное давление
Глава 7. Кровь
Жидкая ткань
Эритроциты
Анемия
Лейкоциты и тромбоциты
Лимфа
Глава 8. Внутренние органы
Пища

Ротовая полость
Желудок
Поджелудочная железа и печень
Абсорбция – всасывание
Ободочная кишка
Глава 9. Почки
Двуокись углерода и вода
Выделительная система
Моча
Глава 10. Кожа
Чешуя и эпидермис
Потоотделение
Волосяной покров
Глава 11. Половые органы
Репродукция
Яйцеклетка
Плацента
Женские половые органы
Мужские половые органы
Постскриптум. Наше долголетие

Аннотация

Айзек Азимов подробно описывает строение и функции тела человека, которого он воспринимает как частицу биосферы. Увлекательно рассказывает о скелетном каркасе, мышцах, кровеносной и пищеварительной системах, а также о сердце, печени, легких, почках – органах, приводящих в действие и снабжающих энергией живой организм. Автор уделяет большое внимание роли репродуктивных органов и кожного покрова. Доходчиво разъясняет сложные термины. Книга снабжена интересными и наглядными рисунками.

Айзек Азимов
Популярная анатомия. Строение и функции человеческого тела

Isaac Asimov
The Human Body: Its Structure and Operation

Глава 1
Наше место в мире

Отличительные особенности

При написании книги о человеческом теле есть одно преимущество: все читатели знают, что такое человеческое тело. Они в состоянии узнать с первого взгляда и отличить его, скажем, от камня или от дерева, от устрицы или лягушки, от собаки и даже от шимпанзе. Более того, все мы знаем заметные внешние черты человеческого тела и даже имеем некоторое представление о его внутреннем строении. Нам кое-что известно о наиболее очевидных его функциях.

В некотором смысле это и недостаток, поскольку всегда есть соблазн, вооружившись всеми этими знаниями, погрузиться в описание и обсуждение человеческого тела, не утруждая себя тем, чтобы осмотреться вокруг. И все-таки человек существует не в изоляции: он — частичка царства природы, а в более широком смысле — мелкая частичка всего мироздания.

Есть определенная польза в том, чтобы рассмотреть структуру и функционирование человеческого организма не в изоляции, а на фоне природы и Вселенной, и, следовательно, будет полезно на некоторое время прикинуться

невеждами, которыми мы в действительности не являемся. Давайте попробуем определить то, что мы подразумеваем под человеческим телом.

Один способ достижения этого с точки зрения логики — это попытаться систематизировать все возможное на основании неких приемлемых различий, а затем поместить человека в одну из ячеек этой системы. Сконцентрировавшись на классификации, в которой мы должны определить место человеку, можем подразделить ее далее по более тонким отличительным признакам, найти ему новое место и продолжать до тех пор, пока это будет необходимо для целей данной книги.

Для начала, к примеру, мы можем сказать, что скала — это не человек. Камень не питается, не растет, не размножается; он не чувствует окружения и не умеет приспосабливаться к нему (это, в определенном смысле, служит для его защиты). Однако человек делает все это. Таким образом мы отличаем не только камень от человека, по и все неживое от живого. Мы делаем первое четкое различие, ведущее к надлежащей классификации человека, определив, что он живой.

Ограничившись только живыми организмами и продолжив наши рассуждения, мы с большой

уверенностью сможем сказать, что отличить кипарис или кактус от человека совсем нетрудно. Первые укоренились в земле и не способны к быстрому осознанному движению. Наиболее важная часть их поверхности — зеленая. Человек не имеет корней, может быстро передвигаться, не имеет никаких зеленых частей, которые играли бы хоть сколько-нибудь важную для его существования роль, и так далее. Легко можно привести множество других отличительных признаков, которые разделят все живое на два больших отдела: царство растений и царство животных, мы явно являемся представителями последнего. (Некоторые биологи определяют третье и даже четвертое царства, но к ним относятся только микроскопические существа, поэтому нас они не касаются.)

Но как только мы ограничим себя животной жизнью и попробуем поместить человека в еще более узкую группу, все перестает казаться таким уж легким. Почти непроизвольно мы пытаемся найти некий отличительный признак, который позволит разделить определенную разнородную группу на две.

Это наиболее простейшая форма классификации, и я уже дважды воспользовался таким

приемом: неживое и живое; растение и животное. Обязательно будут попытки продолжить такую бинарную классификацию.

Греческий философ Аристотель, который жил в IV веке до н. э., классифицировал всех животных на тех, у которых есть кровь, и тех, у которых крови нет, и человек конечно же попал в первую группу. Однако почти все животные имеют какую бы то ни было кровь, и, даже если бы мы ограничились только красной кровью, что, несомненно, и подразумевал Аристотель, такое разделение было бы ошибочным и породило бы две совершенно разнородные группы, ни одну из которых нельзя рассматривать как единое целое[1].

В наше время была предпринята еще одна попытка, более близкая к цели. Французский естествоиспытатель Жан Батист Ламарк в 1797 году разделил животных на позвоночных и беспозвоночных. Позвоночными стали называть

[1] Примечания: 1

Я остановлюсь здесь, чтобы указать, что при нахождении различий и составлении классификаций человечество обычно по собственному выбору строит искусственные барьеры для Вселенной, которая, во многих отношениях, есть «единое целое». Оправданием может служить лишь то, что такой подход способствует нашим попыткам понять мироздание. Это разбивает набор предметов и явлений, слишком сложных, чтобы быть понятыми в своей цельности, на более мелкие сферы, которые можно будет рассматривать одну задругой. Однако в таких классификациях нет ничего объективно «истинного», и единственным надлежащим критерием является их полезность.

тех животных, которые имели спинной хребет, состоящий из ряда отдельных косточек — позвонков. К беспозвоночным, естественно, относились все остальные животные. В соответствии с этой системой человек — позвоночное.

Позвоночные составляют сравнительно близко связанную группу животных. В каком-то смысле это не так уж хорошо, поскольку беспозвоночные представляют собой такое большое разнообразие животных с такими фундаментальными различиями между ними, что их нельзя рассматривать как единое целое. Но для среднестатистического человека, гораздо более заинтересованного в самом себе, чем в любых других животных, термин «позвоночное» вполне подходящий, и классификация Ламарка все еще широко используется в популярной литературе. Несмотря на это, в рядах беспозвоночных находятся насекомые, черви, медузы, морские звезды и другие существа, которые не столь важны неспециалисту, и ему довольно легко не принимать их во внимание. Зоолог, намеренный разумным образом классифицировать всю животную жизнь, не имеет права столь же легко сбросить их со счетов. Ученым вскоре стало очевидно, что нельзя провести ни одной простой линии через царство животных.

Нужно провести довольно много родственных параллелей. Первый, кто в этом преуспел, был шведский ботаник Карл Линней, живший в XVIII веке. В 1735 году он опубликовал книгу, в которой формы жизни были классифицированы по разделам и подразделам в соответствии с генеалогией, с тех пор этой классификации стали придерживаться.

Типы

Однако не Линней дал современное название явно выраженным группам, которые можно включить в царство животных. Эта честь принадлежит французскому естествоиспытателю Жоржу Леопольду Кювье, современнику Ламарка. В 1798 году он подразделил царство животных на четыре основные ветви и назвал каждую из этих ветвей «phylum»– тип, от греческого слова, означающего «племя», или «раса»[2].

Шло время, и зоологи изучали царство животных более тщательно, в мельчайших подробностях, поэтому четыре типа Кювье кажутся слишком скромными. В настоящее время принято около двадцати типов. Я говорю «около»,

---

[2] Примечания: 2

Я намерен, где это кажется целесообразным, давать происхождение специальных терминов. Мне кажется, это должно помочь облечь непонятный термин в знакомые слова и, возможно, устранить ужас перед ним. Так, греческое слово «phylum» вполне может для нас ничего не значить, но мы все знаем, что такое племя, и когда говорим «phylum» или «тип», то больше не проявляем беспокойства по этому поводу. Поскольку большинство научных терминов произошли либо из латыни, либо из греческого, я буду в скобках давать буквальное значение, указывая, из какого языка оно произошло, например phylum (что по-гречески означает «племя»). Когда речь пойдет о других языках или если происхождение слова представляет особенный интерес, я конечно же буду вдаваться в подробности.

поскольку все такие классификации, будучи делом рук человека, зависят от индивидуального суждения их создателя. Есть пограничные случаи, когда один исследователь относит группу неких животных к определенному типу, а другой считает их совершенно недостойными того, чтобы они сами по себе составили тип.

Каждый тип (по крайней мере, в намерении того, кто составляет классификацию) включает в себя всех животных, соответствующих определенной основной схеме строения, которая по многим важным признакам отличается от той, что присуща всем другим животным. Лучший способ объяснить, что это означает, — привести несколько примеров. Это, в конце концов, покажет нам, какова же эта самая основная схема строения человеческого тела (а также организмов родственных человеку животных).

Почти столь же важно знать, что не является основной схемой строения человеческого тела. Наконец, это даст нам критерии, на которые мы сможем ссылаться время от времени далее в этой книге.

Тип протозоа (что по-гречески означает «первые животные») включает в себя все животные организмы, состоящие из единственной клетки.

(Мне придется подробнее рассказать о клетках позднее, но я предположу сейчас, что вы и так уже достаточно наслышаны о клетках, чтобы данное утверждение имело для вас значение.) То, что представители этого типа имеют одноклеточный организм, вполне характерно, поскольку животные всех остальных типов включают в себя организмы, состоящие из ряда клеток (многоклеточные организмы).

Рассмотрите в качестве еще одного примера пару типов — brachiopoda (что по-гречески значит «руконогие») и моллюски (от латинского слова «мягкий»)[3]. Животные обоих типов имеют двойную раковину, состоящую из углекислого кальция (известняка), обе половинки которой скреплены. В этом они уникальны. Наверняка существуют живые существа вне этих типов,

[3] Примечания: 3

Каждое название не вполне соответствует значению слова, от которого оно произошло, если понимать его буквально. Название «руконогие» было предложено потому, что естествоиспытатель, который первым изучал эти существа, предположил, что определенные структуры служат им и руками и ногами. Это оказалось не совсем так. Животные типа моллюсков не слишком-то мягкие. В действительности большинство из них покрыты твердой оболочкой (раковиной или панцирем). Конечно, внутри они мягкие, но не мягче, чем другие животные. Тем не менее, пока зоологи приходят к соглашению насчет какого-либо названия, оно выполняет полезную функцию, даже когда его буквальное значение не вполне соответствует истине. А происхождение этого термина всегда представляет к тому же и исторический интерес.

имеющие известняковую оболочку (раковину или панцирь), к примеру кораллы. Однако известняковые скелеты кораллов и других, не вошедших в этот тип животных, представляют собой единое целое и не состоят из двух соединенных половинок. Вы можете тогда удивиться, почему животные с двойными соединяющимися ракушками, имеющими схожий химический состав, тем не менее разделены на два типа. Дело в том, что у моллюсков одна половинка раковины образуется под животным, а другая — над ним, и обе половинки в большинстве случаев неодинакового размера. У руконогих половинки раковины образуются по правую и левую сторону животного, и, грубо говоря, они одинакового размера.

Это ни в коей мере не является единственным значимым отличием представителей двух этих групп, по для зоолога даже одного его было бы достаточно, чтобы обязательно составить два типа. (Исключительно дабы показать, что в действительности все не так уж и просто, заметим о существовании моллюсков, у которых более двух раковин, одна-единственная ракушка и вообще нет раковины. Тем не менее все они принадлежат к одному типу на основании других

характеристик.)

Тип echinodermata (что по-гречески означает «кожа, покрытая иглами»), то есть иглокожие, хотя и относятся к более сложным типам в том, что касается их строения, отличаются от всех других типов похожей сложности тем, что обладают радиальной симметрией. Это — примитивная характеристика; та, что, иначе говоря, обычно ассоциируется с совсем простыми организмами.

Большинство типов имеют билатеральную симметрию, то есть можно с помощью воображаемой плоскости разделить их тело на две половины, которые являются зеркальным отражением друг друга. Таким образом, у них есть правая и левая сторона, и, если нельзя провести никакой другой плоскости симметрии, также есть явная передняя и явная задняя стороны, или, если вам больше нравится, голова и хвост. Ясно, что человек — представитель типов с билатеральной симметрией. Его парные органы — глаза, уши, ноздри, руки, ноги и так далее — расположены симметрично по обе стороны средней плоскости, проходящей с головы до ног. Его одиночные органы — нос, рот, пупок, анус и так далее — располагаются посередине.

При радиальной симметрии такой уникальной

плоскости провести нельзя, есть центральная точка, из которой расходятся структуры. В случае с иглокожими обычно имеется пять равноценных структур, расходящихся от центра. Наиболее наглядный пример — морская звезда — самая известная представительница иглокожих.

Два типа — кольчатые черви (по-латыни «annelida», что значит «маленькое колечко») и членистоногие (от греческого слова «arthropoda», что значит «сочлененные ноги») — демонстрируют схему строения, присущую еще одному типу, о котором я расскажу позже. Это сегментарное строение, когда организм разделен на несколько сегментов одинаковой структуры и немного напоминает железнодорожный состав, состоящий из одинаковых пассажирских вагонов.



Самый известный из кольчатых червей — земляной червь — разделен на отчетливо заметные сегменты — небольшие последовательные колечки ткани, именно отсюда и произошло название

этого типа. У некоторых членистоногих, таких, как многоножки, наличие сегментов столь же заметно, как у земляных червей. У других сегментация может быть замаскирована, но все-таки проявляется в виде повторения структур по всей длине животного, как, например, многочисленные конечности омара. Два типа, хотя и обладают этой очень существенной характеристикой– сегментацией, явно отличаются друг от друга тем, что кольчатые черви не имеют твердых тканей, в то время как членистоногие имеют твердую оболочку (раковину, панцирь). Конечно, имеются также дополнительные отличительные характеристики.

Раковину членистоногих не нужно путать с раковинами моллюсков или руконогих. Защитная оболочка членистоногих состоит из хитина (от греческого слова, обозначающего тип одежды — «хитон»). Хитин — это органическое вещество, состоящее из молекул сложных Сахаров. Он твердый, легкий и гибкий, в то время как каменный углекислый кальций животных, принадлежащих к другому типу, твердый, тяжелый и ломкий.

Но человеческое существо также сегментировано, хотя у человека это не столь наглядно, как у земляного червя или у омара. Делает ли это его

представителем типа кольчатых червей или членистоногих? Не обязательно. Как мы видели на примере моллюсков и руконогих, сходства в одном отношении еще недостаточно. Человеческое тело, кроме того, что оно сегментировано, имеет сложный внутренний скелет. Такого не имеют ни кольчатые черви, ни членистоногие, и разница эта столь значительна и фундаментальна, что не допускает отнесения человека к любому из этих типов.

Развитие типов

По мнению биологов, в прошлом различные типы не были независимыми друг от друга, все произошли от одного общего предка. К несчастью, порядка возникновения типов и того, как из одного типа развился другой, никто не знает наверняка, хотя и существуют приемлемые предположения.

Прошлая история живых организмов наиболее наглядно прослеживается на примере ископаемых, окаменевших останков давно умерших существ, обнаруженных в глубоко залегающих горных породах. Первые ископаемые, четко показывающие строение животных, были найдены в скалах кембрийского периода, получившего такое название потому, что эти скалы находились в Кембрии — так римляне называли Уэльс, где впервые начали изучать эти скальные породы. Возраст скальных пород кембрийского периода миллиард лет и более, а в это время все типы, кроме одного, уже явно определились и связи между ними больше не были очевидными.

Следовательно, подробные заключения об эволюции типа должны основываться на косвенной

информации. К примеру, поскольку и членистоногие и кольчатые черви обладают сегментацией и поскольку членистоногие в целом более сложные по структуре, целесообразно предположить, что давным-давно, более полумиллиарда лет назад, некая группа кольчатых червей обзавелась хитиновой оболочкой, и они стали первыми членистоногими.

Это предположение, само по себе приемлемое, подкрепляется существованием сегодня животного, которое называют peripatus. Оно классифицируется как членистоногое, но явно самое примитивное из членистоногих и обладает некоторыми характеристиками, которые зоологи обычно ожидают найти у кольчатых червей. Значит, это то самое потерянное звено — потомок линии существ, которые могли быть кольчатыми червями и все-таки не стали полноценными членистоногими.

Конечно, больше всего зоолога будет интересовать установление четкой линии потомков для типа, который включает в себя человека. Этот тип я еще (намеренно) не упоминал. Представители типов, о которых уже шла речь, явно и существенно отличаются от человека, и его нельзя отнести ни к одному из них. В отличие

от простейших одноклеточных мы состоим из множества клеток. В отличие от руконогих, моллюсков и членистоногих у нас нет твердой оболочки. В отличие от кольчатых червей у нас нет твердых тканей. В отличие от иглокожих мы — существа с билатеральной симметрией.

Наш тип определенно должен был развиться из какого-то другого. Наше незнание того, как это произошло, особенно удручает, поскольку случилось это, так сказать, у нас на глазах. Я сказал, что к кембрийскому периоду все типы, кроме одного, уже возникли. Этот один, тогда еще не возникший, является нашим типом, и о том, как он возникал, не осталось никаких фактических свидетельств, а если и остались, то до сих пор не найдены. Ко времени сразу после кембрийского периода, когда появились первые животные ископаемые нашего типа, они уже были так хорошо развиты, как многие ныне живущие существа. Происхождение же их утрачено или в лучшем случае пока не открыто.

Тем не менее надежда есть. Прямые доказательства отсутствуют. В мышцах животных нашего типа есть соединение, называемое креатинфосфат, которое играет важную роль в химии мышечных сокращений. У всех других типов (за

исключением одного) креатинфосфата нет, но подобную роль выполняет родственное соединение аргининфосфат. Исключением является тип иглокожих, ряд представителей которого также использует креатинфосфат. Это любопытно. А не могли ли мы произойти от иглокожих? Радиальная симметрия, похоже, отличает их от нас больше, чем животных почти любого другого типа.

К тому же наш тип объединяет сегментированных животных. В большинстве случаев это свойство хорошо замаскировано, но вы можете обнаружить его проявление в собственном теле. Проведя рукой вниз по позвоночнику, вы явственно почувствуете ряд одинаковых косточек, по одной в каждом сегменте, повторение структуры, столь же характерное для сегментации, как повторяющиеся кольца ткани у земляного червя или повторяющиеся конечности омара. Тогда не произошел ли наш тип, подобно членистоногим, от кольчатых червей?

Но не всегда можно воспользоваться схожестью, чтобы проследить происхождение. В процессе эволюционного развития часто случается так, что две совершенно разные группы обладают заметными сходными чертами, вовсе

не являясь близкими родственниками. Так, киты обзавелись рыбообразной формой, но на основании других критериев гораздо ближе к человеку, чем к рыбам. У летучих мышей образовались крылья, но они гораздо ближе к человеку, чем к птицам. Такое развитие сходства у животных, не имеющих близкородственных связей, обычно возникающего по причине воздействия одинаковых условий окружающей среды, называется *конвергенция.*

Тогда, возможно, человеческий тип произошел от кольчатых червей, а наличие креатинфосфата, как у нас, так и у некоторых иглокожих, — пример конвергенции. Но мы могли произойти и от иглокожих, а существование сегментации у нас, так же как у кольчатых червей и членистоногих, результат конвергенции. Или же наше происхождение и вовсе совершенно иное, а креатинфосфат и сегментарность представляют собой конвергенцию. К счастью, имеются иные доказательства, которые помогут нам принять решение. Часто случается так, что на самых ранних стадиях развития особи животное обладает строением, которое отражает строение его далеких предков. К примеру, даже самые развитые многоклеточные животные начинают жизнь в виде одной

клетки, что может послужить указанием несомненного происхождения всех многоклеточных типов от простейших одноклеточных.

По мере того как эта единственная клетка делится на множество дочерних клеток, клеточная масса образует чашеобразную структуру, состоящую из двух слоев. Внешний слой — *эктодерма* (что по-гречески означает «внешняя оболочка»), а слой, выстилающий внутреннюю часть чаши, — *эндодерма* (от греческого слова «внутренняя оболочка»). Существует тип животных, тела которых представляют собой вариацию такой чашеобразной структуры. Этот тип — кишечнополостные — coelenterata (что по-гречески значит «полая кишка», потому что процесс пищеварения происходит у них внутри чаши, которая таким образом становится кишкой).

Однако у всех типов, более сложных, чем кишечнополостные, образуется третий слой клеток, лежащий между двумя изначальными слоями и поэтому названный *мезодерма* (от греческого «средняя оболочка»). У одних типов мезодерма возникает в месте слияния эктодермы и эндодермы, а у других — в нескольких различных местах эндодермы.

Подобную разницу в происхождении мезодер-

мы зоологи считают чрезвычайно существенной. Кажется логичным предположить, что от примитивных двухслойных кишечнополостных миллиард или более лет тому назад произошли два новых типа, в каждом из которых независимо и собственным путем развивалась мезодерма. Каждый из этих изначально трехслойных типов развился в несколько современных типов.

Получается, что типы, содержащие мезодерму, подразделяются на два супертипа, каждый из которых представляет линию общего происхождения в далеком-далеком прошлом.

Так случилось, что иглокожие и кольчатые черви, два кандидата на то, чтобы представлять наших предков, находятся в разных супертипах, получивших названия в их честь. У супертипа иглокожих, меньшего из этих двух, мезодерма развилась из нескольких точек в эндодерме. У супертипа кольчатых червей она развилась из места слияния эктодермы и эндодермы.

Изучив, как развивалась мезодерма, решить, к какому из супертипов принадлежит наш собственный тип, относительно просто. Ответ таков: вполне определенно, наш тип принадлежит к супертипу иглокожих. Выходит, из всех типов наиболее близкородственными нам должны

быть иглокожие.

Хордовые

Но как же тогда быть с радиальной и билатеральной симметрией?

Разгадкой может послужить молодая особь иглокожих. Как у многих животных, существо, когда оно появляется из яйцеклетки, имеет строение совершенно отличное от того, какое будет иметь, став взрослым. Прежде чем стать взрослой особью, в процессе развития оно подвергается радикальным изменениям. Самый наглядный пример — это гусеница, которая становится бабочкой.

Такой молодой особью, радикально отличающейся от взрослой, является личинка (по-латыни larva, что означает «привидение»). Точно так же, как привидение возникает в облике человека, не имея ни его плоти, ни строения, так и личинка возникает из яйца, отложенного матерью, не имея ни материнской формы, ни строения. Иногда (но не всегда) личинка имеет строение и функции, которые, как мы можем полагать, характерны для существа, от которого она произошла, в то время как взрослая особь, которой она станет позднее, совсем иная.

К примеру, многие иглокожие, руконогие и моллюски большую часть жизни проводят в фиксированном положении или в лучшем случае способны на очень медленное передвижение. Однако личинка таких существ способна свободно передвигаться, и это полезно — она может выбрать для себя наиболее подходящее место и обосноваться там. Будь она неподвижной, как ее родитель, все отпрыски вырастали бы рядом с родителем и погибали бы в сражении за пищу. Резонно предположить, что такие ведущие оседлый образ жизни существа произошли от свободно передвигавшихся предков и есть возможность найти у личинки и другие характерные черты, присущие этим самым предкам.

Личинки иглокожих не только способны свободно передвигаться, но также обладают билатеральной симметрией. Радиальная симметрия появляется только после превращения во взрослую особь. Появившаяся радиальная симметрия, таким образом, станет вторичным признаком, которого, возможно, совсем не существовало в самые первые дни жизни иглокожих.

Фактически мы можем представить, что, когда супертип иглокожих образовался из примитивных кишечнополостных, возникло два главных

типа. У представителей одного из них развилась радиальная симметрия, и они стали современными иглокожими, а у представителей другого — определенные отличительные черты, не характерные ни для одного другого типа, и таким образом появились существа, которые не были иглокожими. Отличительных черт было всего три (за исключением сохранения билатеральной симметрии, которая не слишком явно, но присутствует-таки у многих других типов). Эти три отличительных черты заслуживают внимания, потому что их признаки сохранились у всех представителей этого типа, включая человека. Другим словами, мы будем говорить о строении, которое имеем, по крайней мере в рудиментарной форме или на протяжении определенного периода нашей жизни.

Во-первых, существа этого нового типа имели полый нервный тяж, проходящий вдоль спины организма, — *дорсальный* (что по-латыни значит «спинной») тяж. У всех остальных типов центральный нервный тяж если и существовал, то был твердым и проходил по животу — *вентральный* (от латинского слова «живот») тяж.

Во-вторых, существа нового типа имели внутренний стержень из вязкого, легкого и податли-

вого студенистого вещества. Такого внутреннего ужесточения не существует у других типов, за исключением хрящеобразной субстанции у наиболее развитых моллюсков. Но даже у них оно не имеет форму стержня. Поскольку в своей самой характерной форме желатинеподобный стержень проходит по всей длине животного сразу под дорсальным тяжом, этот стержень назвали спинной струной или хордой.

В-третьих, существо нового типа имеет гортань, снабженную несколькими жаберными щелями. Поступая в рот, вода выходит через эти щели, и пища таким образом может процеживаться.

Любой из этих трех уникальных характеристик достаточно, чтобы выделить отдельный тип, именно к этому типу мы и принадлежим. Этот тип получил название из-за наличия хорды, поэтому его представители называются *хордовые.*

Первые хордовые затерялись (возможно, безвозвратно) в далеком прошлом, как и первые иглокожие. Все, что мы имеем сегодня, — это живущие экземпляры каждого типа, экземпляры, которые развивались на протяжении сотен лет и утеряли все очевидное подобие. Однако примеры примитивных хордовых, которые не совсем утратили сходство с иглокожими, существуют

и сегодня. Биологи особенно интересуются ими, не столько ради них самих, сколько потому, что надеются с их помощью проследить процесс эволюции от некоторых примитивных морских ежей до сложных групп животных, представителем которых является человек. Начнем с того, что существует некое червеподобное морское существо, открытое приблизительно в 1820 году, голова которого заканчивается хоботком, по форме несколько напоминающим язык или желудь, за ним располагается похожая на воротничок структура. Это существо называется balanoglossus. Интересно то, что у него, хотя он походит на червя, сразу за воротничком располагается ряд жаберных щелей, один этот факт вопиет: «хордовые»! Более того, в области этого воротничка имеется дорсальный нервный тяж и липкий хоботок, небольшой отрезок жесткого материала, похожего на отрезок спинной струны.



Этот и несколько родственных видов пред-

ставляют примитивнейших из известных хордовых. И решающий момент в том, что личинка balanoglossus так похожа на личинку иглокожего, что, впервые открыв личинку balanoglossus, ее классифицировали как иглокожее. Несомненно, доказательство нашего происхождения от иглокожих просто ошеломляющее.

Личинка другого представителя примитивных хордовых не слишком похожа на иглокожее, но имеет форму небольшого головастика, в хвосте которого есть дорсальный нервный тяж и спинная струпа. В передней части имеются жаберные щели. Хордовость не вызывает сомнений. Однако это существо в процессе изменений при превращении во взрослую особь отбрасывает хвост (как головастик), теряя при этом всю спинную струну и почти весь, кроме крошечного кусочка, нервный тяж. То, что остается от прежнего существа, приобретает привычку к оседлой жизни — прикрепляется к какой-нибудь поверхности и покрывается толстой жесткой оболочкой, называемой туника, поэтому такие существа и называются *оболочниками.*

Если рассматривать их взрослую особь, то она вообще ничего не имеет от хордовых, за исключением того, что сохраняет многочисленные

жаберные щели, через которые всасывается вода, чтобы можно было фильтровать пищу. Профильтрованная вода выбрасывается из отверстия в боку, а существо к тому же называется асцидия.

До сих пор, кажется, хордовые не слишком интенсивно пользовались спинной струной, но давайте вернемся к личинкам оболочников.

У животных иногда наблюдается тенденция сохранять форму личинки довольно продолжительное время. Может случиться так, что личинка лучше адаптирована к условиям окружающей среды, чем взрослая особь, поэтому ей выгоднее придавать особое значение этой стадии развития. У некоторых насекомых, к примеру, личинки живут относительно долго (иногда несколько лет), а взрослая особь очень недолговечна. Она может иметь единственную функцию — быстро откладывать яйца, из которых вылупится новая личинка. У таких взрослых особей может даже не быть рта, поскольку из-за малой продолжительности жизни у них нет необходимости питаться.

Если бы личинка развила особое качество взрослой особи, то есть способность к воспроизведению, то необходимость во взрослой этой особи отпала бы, а личиночная стадия могла бы остаться единственной. Действительно, подобное

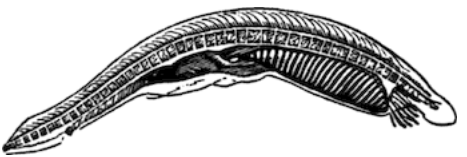
явление наблюдается у некоторых саламандр и называется *неотения* (что по-гречески означает «повое растяжение»), то есть новое существо развивается посредством растяжения стадии личинки. Тенденция к этому также наблюдается у оболочечников: в этой группе есть небольшие существа, личиночный хвост у которых сохраняется на протяжении всей жизни.

Значит, вполне возможно, в давно прошедшем кембрийском периоде какой-нибудь примитивный оболочечник подвергся неотении, хвостовой отдел животного приобрел большую важность, и в конце концов возник новый тип существ, который представлял собой только хвост оболочечника.

Небольшое существо, живущее по сей день, предположительно может быть потомком ранних хвостатых оболочечников. Оно длиной около двух дюймов и немного напоминает рыбу. Его головной конец имеет круглое отверстие, окруженное щетинками, которые загоняют в рот поток воды, который выходит наружу через жаберные щели позади головы. Как голова, так и хвост этого существа стали относительно острыми по форме, поэтому его назвали amphioxus (что по-гречески означает «равнозначно острый»).

Поскольку он также напоминает крошечный ланцет, то получил название ланцетник.

Ланцетник имеет дорсальный нервный тяж, а под ним спинную струну, проходящую по всей длине тела с одного конца до другого. Это простейшее, дожившее до сегодняшнего дня существо, у которого внутренний стержень может выполнять ужесточающую функцию на протяжении всей жизни.



Ланцетник к тому же явно демонстрирует сегментацию. Простое наличие ряда повторяющихся структур, таких, как жаберная щель, — достаточный признак того, что сегментация — основная характерная черта всех хордовых, но у ланцетника, поскольку он полупрозрачен, можно видеть сегментарное расположение мышц.

Эти три группы организмов — balanoglossus, оболочечники и ланцетники — столь различны между собой, что, хотя все они хордовые, их, тем не менее, поместили в три разных подтипа.

Balanoglossus — *полухордовые*; оболочечники принадлежат к *урохордовым* (что по-гречески означает «хвостовая хорда»); а ланцетник является *цефалохордовым* (по-гречески «головная хорда»). Некоторые зоологи считают полухордовых небольшим отдельным типом.

Позвоночные

В общем и целом хордовые, как они были описаны до сих пор, не слишком преуспевающий тип. Число видов, которое он объединяет, невелико, жизнь они ведут пассивную и медлительную. Однако у них имелся большой потенциал. Спинная струна — прототип внутреннего каркаса, к которому могут прикрепляться мышцы. Внутренний каркас гораздо легче и более эффективен, нежели такой внутренний каркас, как раковина. К тому же жаберные щели можно приспособить для того, чтобы извлекать из воды не только пищу, но и кислород, делая дыхание более эффективным, чем у других типов. Наконец, дорсальный нервный тяж оказался гораздо более способным к усовершенствованию и развитию на протяжении нескольких сотен миллионов лет, чем любой нервный тяж, расположенный вентралыно.

Но все это скорее потенциальные, чем реальные качества небольшой и довольно неудачливой троицы подтипов, описанных до сих пор. Однако остается четвертый подтип, который предположительно мог развиться из предков ланцетника, той самой примитивной группы, сохраняющей

спинную струну на протяжении всей жизни. Именно к этому четвертому подтипу принадлежит человек, а также большинство известных нам животных.

Произошло то, что спинная струна, сплошной несегментированный стержень, взяла на себя сегментацию остального организма. Она постепенно трансформировалась в ряд хрящевых дисков, по одному на каждый сегмент. Это не только снабдило новое существо более упругим и эластичным стержнем. Помимо этого, отдельные сегменты стали окружать дорсальный нервный тяж так, чтобы обеспечить эту ключевую часть организма надежной защитой от толчков и ударов. Полоски хрящей также выстлали жаберные щели, ужесточив их и образовав жаберные дуги.

Отдельные диски, в которые превратилась спинная струна, называются *позвонки*, по причинам, которые я приведу ниже. Существа с такими позвонками являются представителями всех остальных хордовых и включены в четвертый и последний из их подтипов — позвоночные. Именно этот подтип и включает в себя позвоночных животных Ламарка.

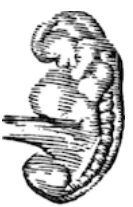
Все позвоночные имеют полый дорсальный нервный тяж, характерный для хордовых, за-

ключенный в позвонки. Он есть и у человека, что делает его представителем и хордовых и позвоночных. Однако последние, обзаведясь позвонками, утратили спинную струну. Не придал ли им этот факт статус отдельного типа? По-видимому, это было бы возможно, если бы спинная струна действительно исчезла, но это не так. Для того чтобы относиться к хордовым, организм должен обладать спинной струной в какой-то момент его жизни, как оболочечник на стадии личинки.

Теперь позвоночное, такое, как человек, не имеет формы личинки в обычном смысле, по развивается от стадии к стадии из исходной оплодотворенной яйцеклетки. С момента оплодотворения яйцеклетки до момента рождения проходит период протяженностью около девяти месяцев. Весь период человеческое существо систематически развивается внутри материнского тела в виде эмбриона (что по-гречески означает «внутренняя опухоль»). Человеческий эмбрион изучен не столь хорошо, как эмбрионы других существ, более доступных для экспериментов и анатомирования, но основная линия развития вполне ясна. К примеру, во время третьей педели развития у человеческого эмбриона присутствует

спинная струна. С течением времени ткани вокруг нее сегментируются, образуя блоки, которые поглощают и заменяют спинную струну, формируя вместо нее позвоночник. Однако коль скоро спинная струна некоторое время присутствовала, человек (как и все другие позвоночные) является законным представителем хордовых.

Подтип позвоночных подразделяется на более узкие подразделы, называемые классами, а те, в свою очередь, группируются по четыре в два подкласса. Если мы кратко опишем природу этих классов, то продолжим рассматривать эволюцию человека, в процессе которой продолжались структурные усовершенствования до тех пор, пока он не появился на земле.



25-ДНЕВНЫЙ ЭМБРИОН

Первый из двух подклассов позвоночных — это *рыбы*, и он включает в себя существа, которые

живут в воде. Самый примитивный из четырех классов рыб должен объединять существа, похожие на ланцетника, у которых впервые образовался хрящевой позвоночник, окружающий нервный тяж. Подобно ланцетнику, они сохранили круглое ротовое отверстие без челюсти, которая может открываться и закрываться. По этой причине представителей такого класса называют *бесчелюстными.*

Первые бесчелюстные были безобидными существами, питающимися с помощью фильтрования воды, вроде современных ланцетников, но немногочисленные бесчелюстные, которые сохранились до сегодняшнего дня, освоили всевозможные премудрости. Наиболее известная — минога, ее круглое ротовое отверстие снабжено небольшими твердыми присосками, которыми она прикрепляется к рыбе, как вампир.

Первые бесчелюстные, существовавшие полмиллиарда лет тому назад, приобрели еще одно усовершенствование. У ряда типов, как я уже объяснял, появилась твердая внешняя защитная оболочка, и бесчелюстные развивались в этом же направлении. Одна группа существ обзавелась панцирем на голове и передней части туловища и поэтому была названа ostracoderms (что

по-гречески означает «панцирная кожа»), или *панцирные.*

Однако эти панцири бесчелюстных не были еще одной разновидностью раковин, и здесь мы сталкиваемся с жизненно важной новой отправной точкой. Вместо того чтобы состоять из углекислого кальция, как раковины моллюсков, они состоят из фосфорнокислого кальция. Структуры из фосфата кальция, производимые панцирными, называются костью, и это вещество уникально для позвоночных. Оно не обнаружено ни у каких других живых существ. Преимущество кости перед раковинами из других материалов состоит в ее необычной твердости. Отрезок кости с поперечным сечением один квадратный дюйм обладает предельной прочностью на разрыв почти 6 тонн, именно такая сила потребуется, чтобы сломать ее пополам.

Следующим шагом, поскольку позвоночные были уже достаточно эффективно защищены, стало обретение оснащения для возможной агрессии. Первые жаберные дуги, те, что располагались ближе всего к круговому отверстию, служившему бесчелюстным ртом, постепенно раздвоились и стали примитивной челюстью. Такого изменения оказалось достаточно, чтобы

иметь основание поместить существа с новообразованной челюстью в отдельный класс. Поскольку они сохранили костную переднюю раковину панцирных, этот новый класс называется placodermi (по-гречески «пластинчатая кожа»), или *пластинчатые.* С развитием зубов они обрели возможность хватать пищу, разрывать ее на куски и проглатывать. Жаберные щели утратили связанные с пищей свойства и начали приспосабливаться только для дыхания.

К нашему времени пластинчатые вымерли, и теперь это единственный класс позвоночных, не имеющий живых представителей. Но в свое время они были весьма жизнеспособными и положили начало новым классам рыб, которые пришли им на смену. Представители этих новых классов в целом отказались от внешнего панциря и полагались скорее на маневренность и скорость, чем на пассивную защиту. В процессе эволюции это зачастую неплохой ход. Панцирные также вымерли, но некоторые из множества лишившихся брони бесчелюстных — всего несколько видов — все еще существуют и сегодня.

Из пластинчатых развились оставшиеся два класса рыб. Оба класса отказались от внешней

брони, как таковой. Некоторые их представители исчезли совсем, а оставшиеся покрылись кожей так, что она стала внутренней защитой, окружив переднюю часть нервного тяжа, который разросся и превратился в примитивный мозг.

У этих двух классов развились подвижные парные плавники. Бесчелюстные и пластинчатые и прежде имели плавники (иногда даже значительное их количество), расположенные вдоль средней линии тела. Они служили органами равновесия, поддерживая их и не давая перевернуться брюхом вверх при плавании. Постепенно плавники приобрели жесткость с помощью хрящевых плавниковых лучей.

Эти плавники у новых классов превратились в два парных плавника, расположенные по обе стороны средней линии тела, одна пара сразу за головой, а другая — перед хвостом. Их ужесточали не только хрящевые плавниковые лучи, но и внутренние жесткие тяжи, спускающиеся от позвонков. К этим опорам прикреплялись мышцы, которые могли управлять движениями плавников, и превратили их из пассивного приспособления для балансировки в весла, которые помогали при быстрых разворотах и всевозможных маневрах, требующих скорости. Позвонки

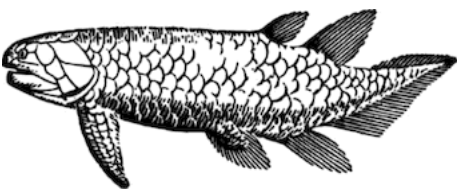
приобрели изогнутые отростки, которые сделали более жесткими бока существа. Таким образом то, что началось с простого тяжа спинной струны, превратилось в сложную систему, включающую в себя суставной позвоночный столб с черепом, защищающим мозг, набором ребер, защищающим внутренние органы, и плавниками вместо конечностей.

Два новых класса имели одно важное отличие — отношение к костям. Один класс регрессировал, совершенно отказавшись от костей и образовав остов, целиком и полностью состоящий из хрящей. Это класс chondrichthyes (что по-гречески означает *«хрящевые рыбы»*), представленный сегодня разнообразными акулами. Второй класс, который состоял из оставшихся рыб, сохранил кости, переместив их внутрь. У них хрящи позвоночного столба с отростками превратились в кости. Это класс osteichthyes (что по-гречески значит «костные рыбы»), и именно к этому классу принадлежат все знакомые нам сегодня рыбы.

Костные рыбы широко распространились в девонский период (названный так по названию области в Южной Англии, где впервые были найдены и изучены горные породы того периода),

существовавший около 400 миллионов лет назад. Потребовалось 100 миллионов лет эволюции хорды, чтобы достичь этого, но тип в конечном итоге оставил свой след. Костные рыбы доминируют в океане и образовали большое число видов. По этой причине этот период иногда называется «расцветом рыб». Что же касается океана, в действительности век «расцвета рыб» так и не закончился, поскольку костные рыбы и сейчас преобладают в океане.

Большая часть многообразных костных рыб сохранили свои парные плавники в форме тонких оборок тканей, поддерживаемых плавниковыми лучами. Костные опоры были небольшими и сильными, настолько, насколько это необходимо для маневрирования плавниками как веслами. Человек произошел не от этих рыб, которым повезло больше всего, а от бедных родственников этих рыб с плавниковыми лучами.



У этих бедных родственников мясистая часть плавника вместе с костями и мышцами развилась до такой степени, что каждый из четырех плавников, казалось, образовывал похожее на обрубки продолжение тела, с тонким выступом каймы, поддерживаемой лучами. Это рыбы с дольчатыми плавниками или crosspterygii (что по-гречески означает «бахромчатые плавники»).

Рыбы с дольчатыми плавниками пожертвовали проворностью плавания в угоду такому строению плавников и были гораздо менее удачливыми, чем другие группы костных рыб. Считалось, что они вымерли около 70 миллионов лет назад, но в 1939 году в водах Южной Африки была поймана сетью живая рыба с дольчатыми плавниками, а после Второй мировой войны еще несколько представителей таких рыб. Это означает, что незначительному числу представителей этих рыб удалось преодолеть многие века. Однако рыбы с дольчатыми плавниками добились преимущества в мелких, болотных водах, где их похожие на обрубки плавники, плохо пригодные для плавания, оказались вполне подходящими опорами. Они при необходимости могли перебираться из высыхающего водоема в более глубокий.

Совершенствовались конечности и другие приспособления, включая легкие и сердце, приобретая формы жизни, которые впервые были способны пребывать на суше достаточно продолжительное время, а в конечном счете — и постоянно. Таким образом, хотя одни потомки рыб с дольчатыми плавниками исчезли (во всяком случае, в значительной степени из воды), другие их потомки благополучно заселили сушу и положили начало второму подклассу позвоночных, подклассу, к которому принадлежит человек.

Представители этого второго подкласса не могли больше полагаться на способность держаться на воде, которая помогала им перемещаться в пространстве. Им приходилось бороться с силой гравитации, поэтому конечности стали больше и сильнее, по большей части их сохранилось всего четыре, хотя иные представители подкласса, такие, как некоторые нелетающие птицы, ограничились всего двумя функциональными конечностями, а змеи вообще избавились от них. Тем не менее это исключения. Ми одно наземное позвоночное при этом так и не обзавелось пятой конечностью, по этой причине весь подкласс называется *четвероногие.* Мы пользуемся

почти тем же самым, но латинским термином «quadrupeds», когда говорим о животных, с которыми наиболее близко знакомы, что тоже значит «четвероногое».

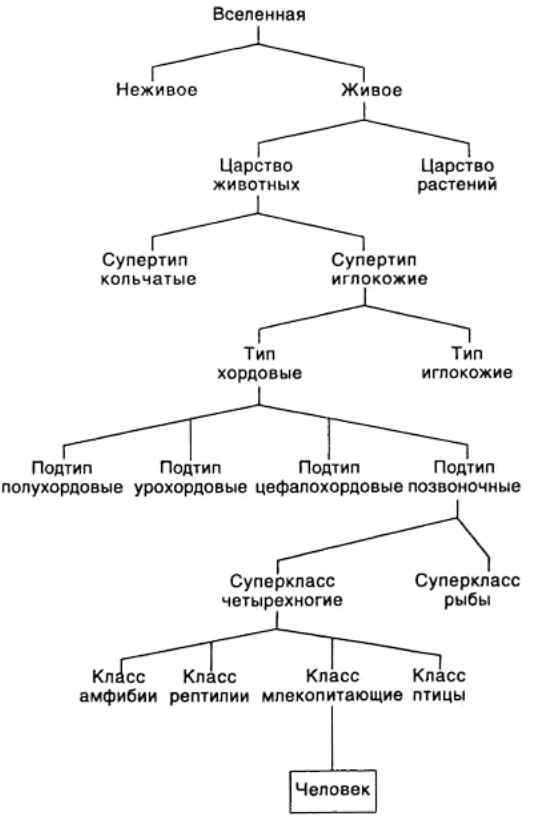
Четвероногие подразделяются на четыре класса, первый из которых образовался из рыб с дольчатыми плавниками около 300 миллионов лет назад. Он включает в себя существа, которые еще не могут обходиться полностью без воды. Они откладывают в воду яйца, и личиночные формы, которые вылупляются, довольно сильно походят на рыбу с плавниковыми хвостами и жабрами. В конце концов эти личинки подвергаются радикальным изменениям, заменяют жабры легкими, а хвост — лапками. Всю свою взрослую жизнь они проводят на земле, хотя и рядом с водой. Поскольку их жизнь проходит как в воде, так и на суше, они представляют собой *амфибий* (что по-гречески означает «двойная жизнь»). Лягушки, ящерицы и саламандры — наиболее известные из существующих сегодня амфибий.

В конечном счете потомки амфибий стали откладывать яйца на суше, и таким образом освободились от воды. Они составили второй класс четвероногих — класс рептилий (название происходит от латинского «ползать», на

том основании, что наиболее известные из современных рептилий — змеи — передвигаются именно таким образом). Амфибии и рептилии, хотя и знавали времена, когда их представители были доминирующими формами жизни на земле, сегодня переживают не лучшие времена. Их вытеснили определенные потомки рептилий, которые достигли новых высот.

Рептилии и амфибии, вместе со всеми представителями подкласса рыб и всех типов вне хордовых, являются хладнокровными — их внутренняя температура имеет тенденцию становиться равной температуре окружающей их внешней среды. Однако около 150 миллионов лет назад от рептилий произошло два развивавшихся независимо друг от друга класса животных, которые обладали способностью быть теплокровными, то есть поддерживать внутреннюю температуру более высокой, чем температура внешнего окружения. Это стало явлением новым, уникальным и дающим преимущества, которых я еще коснусь в этой книге.

МЕСТО ЧЕЛОВЕКА В ПРИРОДЕ



Первыми из этих возникших классов были млекопитающие, названные так потому, что представители этого класса обладают органами, выделяющими молоко для кормления детенышей. Четвертым и последним классом стал класс птиц. Простейший способ различить эти два класса теплокровных состоит в способе изоляции их тел от избыточной потери тепла. Для этой цели птицы используют перья, а млекопитающие — волосяной покров.

Того факта, что человек обладает волосяным покровом, вполне достаточно, чтобы отнести его к млекопитающим. Кроме того, он обладает рядом других признаков, характерных для млекопитающих.

Четвероногие после амфибий лишились жаберных щелей и таким образом утратили один из трех характерных признаков типа хордовых, но утратили не окончательно, что становится ясно, если мы обратим внимание на развитие эмбриона. У человеческого эмбриона, к примеру, существует период в четвертую неделю развития, когда в горле появляются жесткие конструкции, напоминающие жаберные дуги. Между ними даже появляются пустоты, как будто горло будет перфорировано, и образуются жаберные щели.

На самом деле эти жаберные карманы так и не прорежутся, тем не менее этого достаточно, чтобы придать нам признак хордовых вместе со спинной струной, которую мы имеем в какой-то момент эмбрионального развития, и с полым дорсальным нервным тяжом, которым мы обладаем на протяжении всей своей жизни.

Я подробнее расскажу о развитии различных классов четвероногих ближе к концу книги и рассмотрю вопрос о том, к какой группе млекопитающих принадлежит человек. А пока довольно того, что мы определили человека как млекопитающее и показали его место в природе.

Глава 2
Голова и туловище

Позвоночный столб

То, что, вне всяких сомнений, делает человека позвоночным, самым тесным образом связывает с другими членами подтипа и наиболее заметно отличает от других существ вне подтипа, — это внутренний костный каркас. Начальная глава о месте человека в природе, таким образом, должна привести нас к этому костному каркасу, как к логическому месту, с которого следует начинать рассматривать тело человека.

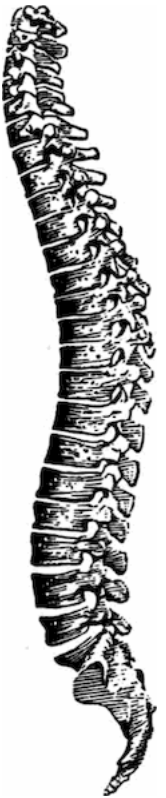
Кости нашего тела (как, впрочем, и тела любого позвоночного) составляют скелет (по-гречески это слово значит «высохший», поскольку скелет имеет сходство с высушенным человеческим телом, с ссохшейся мумией, с которой удалена кожа). Скелет, являясь остовом, вокруг которого формируются мягкие ткани, дает ясное понимание того, что представляет собой человеческое тело. То же самое можно сказать и о других членах нашего подтипа. По найденным окаменевшим останкам скелетов палеонтологи в состоянии реконструировать внешний вид давно умерших животных, которые жили сотни миллионов лет тому назад.

Схожесть человеческого скелета с телом вызывает суеверный страх. Широкий оскал улыбки, узкие полоски ребер, длинные пальцы сразу же указывают на человеческое существо, однако, деформируя его, придают скелету пугающий вид для детей и наивных взрослых. Мы конечно же будем рассматривать скелет без всяких эмоций и даже с точки зрения статистики.

Скелет составляет около 18 процентов массы человеческого тела и состоит из более 200 отдельных костей. Из них старейшими с эволюционной точки зрения является ряд костей, проходящих по всей длине спины и формирующих центральную ось тела. Общее название этого ряда костей — спинной хребет, которое описательно подразумевает существование одной кости, в то время как в действительности имеется более двух дюжин костей.

Каждая из этих костей неправильной формы, с несколькими выступами, достаточно выпуклыми, похожими на колючие отростки. Если вы согнете спину, то сможете обнаружить ряд этих выпуклостей, если посмотрите на чью-то согнутую спину — линию холмиков. Поскольку это наиболее наглядная характеристика спинного хребта живого человека, неудивительно, что

он получил и другое название — позвоночный столб. Иногда в обиходе его сокращенно называют позвоночником, что опять-таки ошибочно подразумевает наличие одной кости.



Будь позвоночный столб действительно единой костью, спина оказалась бы неподвижной и несгибающейся, совсем как бедро, которое

строится вокруг одной кости. Столб состоит из отдельных костей, поэтому его можно наклонить вперед, назад, вбок или даже придавать ему круговые движения. Он не сгибается резко в какой-либо отдельной точке, как рука сгибается в локте, а лишь слегка наклоняется в каждой из многочисленных точек. Таким образом он сохраняет определенную жесткость кости и обладает некоторой гибкостью правильно сочлененных костей. Это очень удачный компромисс.

Свойство спинного хребта поворачиваться и наклоняться в различных направлениях дало ему официальное название позвоночный столб. Отдельные кости столба — позвонки, именно поэтому животные нашего подтипа стали называться позвоночными.

У различных морских животных подкласса рыб спинной хребет образует прямую горизонтальную линию, когда существо находится в обычном состоянии (плавает). Отдельные позвонки очень похожи друг на друга.

Для наземных животных такое простое устройство не практично. Поскольку у морских существ тело в каждой точке поддерживается водой и способно держаться на поверхности, у четвероногих тело опирается на четыре конечности, по

паре с каждой стороны спинного хребта. В промежутке хребта от передних до задних конечностей подвешены разнообразные органы, естественно тянущие вниз из-за силы гравитации. Если бы при этих условиях хребет был прямым, подвешенная к нему масса неизбежно привела бы к искривлению хребта вниз — прогибу. Для предотвращения этого эффекта спинной хребет четвероногих выгнут аркой таким образом, что каждый позвонок частично опирается на кость, которая находится непосредственно перед ним и за ним. Масса подвешенных органов распределяется по линии хребта к передним и задним конечностям.

У четвероногих форма отдельных позвонков различается в зависимости от выполняемых функций. Это можно назвать специализацией.

Рыбе, чтобы повернуться, достаточно взмахнуть хвостом, потому что тело со всех сторон поддерживается жидкостью. На земле позвоночному не так повезло. Чтобы развернуть тело, следует проделать серию сложных движений конечностей. Когда поворот осуществляется с единственной целью перенести органы чувств, сконцентрированные в голове, в нужном направлении, было бы очень удобно, если бы голова

могла поворачиваться, не вовлекая в это действие конечности.

И действительно, такая возможность возникла — для этой цели образовалась узкая область шеи, отдел позвоночного столба, который по форме приспособлен для большей свободы сгибания. Линия позвоночника в шейном отделе выгнута аркой, придавая голове нужную высоту для большего обзора.

Когда наземное позвоночное бескомпромиссно возвращается в море, как это сделали киты и дельфины, подобные приспособления для жизни на земле утрачиваются. У кита и китообразных хребет снова почти прямой, а шейному отделу осталось лишь исчезнуть.



У человека происходят другие изменения. При рождении у нас имеется позвоночный столб с двумя изгибами, присущий типичному позвоночному, обитающему на земле, — вогнутая кривая в области шеи и выпуклая аркообразная кривая на спине. Желая приблизиться к чему-либо, младенец, подобно четвероногому животному, довольно умело подползает. Однако на втором году жизни младенец встает на ноги и находит, что оставаться в таком положении ему удобнее и естественнее. Для прямохождения человеческий позвоночный столб выгибается назад в области бедер, образуя новую кривую. Человеческий позвоночный столб, хотя все еще совершенно прямой, если смотреть со спины, демонстрирует ряд довольно элегантных кривых, сходных по форме с латинской «S», если смотреть сбоку.

Человеческое тело, на первый взгляд, подвергается опасности в вертикальном положении, однако изгибы позвоночного столба помогают относительно легко поддерживать такое положение и придают нам упругое равновесие. Другие животные, которые способны вставать на задние конечности, такие, как медведи и гориллы, не имеют изгибов позвоночника в области бедер и, следовательно, не могут долгое время находиться

в вертикальном положении. Поэтому горилла редко находится в вертикальном положении, а обычно из-за отсутствия изгибов позвоночника наклоняется вперед и частично опирается на костяшки передних конечностей.

Существуют двуногие существа, такие, как кенгуру и птицы, которые сохранили горизонтальный позвоночный столб. Сохранять равновесие им позволяет сравнительно длинный хвост, служащий противовесом для передней части тела. Исключение — пингвин с довольно смешной человекоподобной походкой вперевалку.

Запрокидывание позвоночного столба у человека вызывает трудности по сравнению с животными. Анатомы пользуются термином «дорсальный», что значит «в направлении спины». Если речь идет о человеке, «дорсальный» означает «в направлении спины (сзади)», но если речь идет о большинстве других животных, то это значит «в направлении вверх (вперед)».

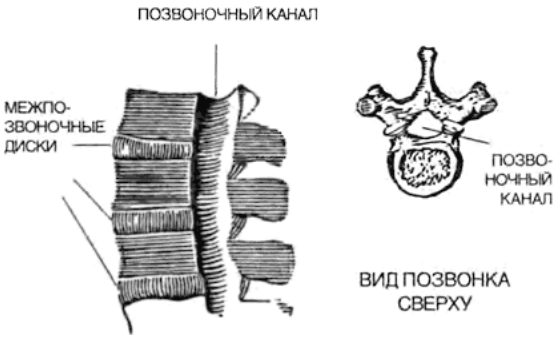
Кроме того, имеется термин «вентральный», что означает «в направлении живота», то есть впереди у человека, но внизу у большинства других животных. Определения «передний» и «задний» означают «по направлению к голове и хвосту», соответственно, когда речь идет о

положении у большинства животных, и «в направлении живота и спины», если речь идет о человеке.

Возможно, самый безопасный способ избежать путаницы состоит в том, чтобы совсем забыть о положениях вверх, вниз, вперед, назад и определять направления в отношении частей тела. У большинства позвоночных «дорсальный» означает «в направлении к позвоночному столбу», «вентральный» — «в направлении живота», «передний» — «в направлении головы» и «задний» — «в направлении хвоста». У человека «верхний» — это в направлении головы, «нижний» — в направлении ног.

Позвоночник и ребра

Поскольку спинная струпа (хорда) изначально располагается вентрально по отношению к нервному тяжу, основная часть типичного позвонка все еще располагается вентрально. Позвонок представляет собой твердый цилиндр из кости, называемый телом позвонка. От него отходит костная дуга, замыкающая пространство в виде неправильного круга. Это замкнутое пространство — позвоночное отверстие, а образующая его костная арка — дуга позвонка. Как вы можете догадаться из определения, дорсальный спинной мозг проходит через это кольцевое отверстие, вернее, через ряд отверстий, образованных расположенными друг за другом позвонками.



Дуга позвонка имеет три выступа, или отростка. Один расположен дорсалыно (иногда несколько наклонен вниз), и именно его вы чувствуете, когда проводите пальцем по позвоночному столбу. Эти выступы, которые легко нащупать, называются остистыми отростками. Два других выступа по бокам с каждой стороны, направленные в стороны, — поперечные отростки.

Если вы когда-нибудь обгрызали шейку цыпленка, то знаете, какими острыми и неровными могут быть эти отростки. Неровности — не бесполезные украшения, они служат важной цели, поскольку именно к этим отросткам прикрепляются различные мышцы, к которым, в свою очередь, могут присоединяться другие кости.

Человеческие позвонки подразделяются на три

разные группы. Семь самых верхних, к примеру, называются шейными позвонками. Как следует из их названия, они являются позвонками шеи. То, что таких шейных позвонков семь, типично для млекопитающих. За исключением пары видов ленивцев, все млекопитающие, независимо от длины шеи, имеют их всего семь, ни больше ни меньше. В случае с китом, у которого нет шеи, эти позвонки расплющены до незначительных размеров, и все-таки осталось именно семь расплющенных позвоночных дисков. Что же касается жирафа, то и его длиннющая шея содержит всего семь позвонков, хотя они так вытянуты, что скорее похожи на кости конечностей, чем на позвонки.

Птицы не обладают столь определенным числом шейных позвонков, как млекопитающие, и обычно имеют позвонков почти в два раза больше. И поэтому (факт, близкий сердцу почитателей раздела «Хотите верьте, хотите нет») воробей имеет больше костей в шейном отделе, чем жираф. Отсюда следует также, что птицы, такие, как лебедь или фламинго, обладают гораздо большим диапазоном движений и грацией своих длинных шей, чем жираф. Действительно, слова, что у девушки «лебединая» шея, может

быть воспринято как приятный комплимент, но сказать, что шея у нее «как у жирафа», — значит причинить обиду. Безусловно, с точки зрения анатомии шея девушки действительно походит на шею жирафа, а не лебедя, но такое уточнение, по всей видимости, также не пойдет на пользу, и я уверен, только ухудшит положение дел.

У человека первый шейный позвонок имеет специально приспособленную форму, обеспечивающую сочленение с костной структурой головы — черепом. У него нет тела, он состоит только из дуги. Более того, это довольно большая дуга, поскольку спинной мозг в этом месте расширяется, чтобы стать головным мозгом.

Когда вы киваете, позвоночник сгибается между черепом и первым позвонком. Поскольку человек, как правило, имеет череп шарообразной формы, который покоится на дуге этого первого позвонка, подобно тому как земной шар покоится на плечах гиганта Атланта в греческом мифе, этот позвонок и называется *атлант*.

Когда вы качаете головой из стороны в сторону, атлант совершает движение вместе с черепом, и движение это происходит вдоль раздела между первым и вторым шейными позвонками.

Второй позвонок имеет специальный отросток,

выступающий вверх. К нему точно подходит атлант, и передний отросток действует как ось, когда мотают головой в знак отрицания. Второй позвонок, следовательно, называется *осевой.*

Отростки шейных позвонков довольно острые и слегка разветвлены на концах.

Следом за шейными позвонками располагаются двенадцать *торасикальных* позвонков (от латинского слова «грудь»), которые проходят по всей длине грудной клетки. (Грудные позвонки иногда называют дорсальными позвонками, но это некорректный термин, поскольку все позвонки дорсальные.)

Грудные позвонки имеют поперечные отростки, которые чуть длиннее всех остальных, поскольку к ним крепятся ребра. К каждому поперечному отростку каждого грудного позвонка крепится по одному ребру. Всего таких пар 12, а в сумме у человека 24 ребра. В том месте, где ребро встречается с позвонком, оно продолжено двумя отростками, один примыкает к поперечному отростку позвонка, а другой — к самому центру. Каждое ребро изгибается в виде наклоненного книзу полукруга, и взятая вместе пара составляет часть грудной клетки. Большинство пар проходят вентралыно и присоединяются к плоской кости,

выступающей, несколько уходя вниз, по средней линии спереди грудной клетки. Это — sternum (от греческого слова «грудь»), или *грудина.*



ВИД СБОКУ ШЕСТОГО ГРУДНОГО ПОЗВОНКА (КРУПНЫЙ ПЛАН)

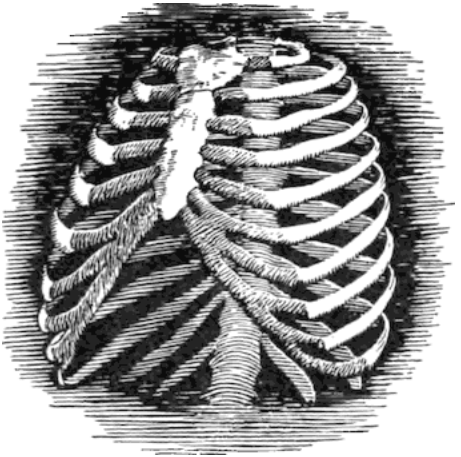
Первая пара ребер относительно короткая, но каждая из следующих шести пар все длиннее и длиннее. Семь пар присоединяются непосредственно к грудине, и из-за этого их иногда называют *истинные* ребра. Пары восьмая, девятая и десятая — это *ложные* ребра. Они не присоединяются непосредственно к грудине, по сходятся и сочленяются с седьмым ребром перед грудиной. Таким образом, спереди грудной клетки находится резкая, направленная вверх выемка в костной структуре, что вы легко можете почувствовать, проведя рукой по линии своих нижних ребер. Одиннадцатая и двенадцатая пары ребер не замыкают окружность, а закапчиваются, так

сказать, посередине груди.

Это *колеблющиеся* ребра. Ребра и грудину, вместе взятые, называют *грудной клеткой.*

Парность ребер подтверждает нашу двустороннюю симметрию. Поэтому кости, которые встречаются поодиночке, должны располагаться по средней линии тела. Примеры тому — различные позвонки и грудина. Любая кость, которая лежит с одной стороны средней линии, имеет парную кость, свое зеркальное отражение по форме.

Позвонки и ребра, вместе взятые, являются самым очевидным показателем фундаментальной сегментации человеческого тела. Такой показатель гораздо более впечатляющ у некоторых других позвоночных. Рептилии в основном имеют ребра, примыкающие к каждому позвонку, за исключением хвостовых. Большой питон с двумя сотнями позвонков, идущих вдоль спины по всей длине, имеет две сотни пар ребер, и его скелет имеет безошибочное сходство с чудовищной сороконожкой.



К слову сказать, было бы неплохо обратить внимание на то, что число ребер у мужчины и женщины одинаково. Из-за легенды, рассказанной в Книге Бытия (2:21–22), смысл которой в том, что Бог сделал Еву из ребра, вынутого из бока Адама, кто-то может предположить, что у мужчин одного ребра недостает. Это не так. Однако анатомы могут легко отличить женский скелет от мужского по различиям формы и пропорций некоторых костей, но ни один из представителей какого-либо пола не имеет костей, отсутствующих у представителя пола противоположного.

Но давайте вернемся к позвоночному столбу.

Позади грудных есть пять *люмбарных* (от латинского слова «поясница»), то есть поясничных, позвонков. Они образуют узкую линию талии скелета. К этим позвонкам ребра не присоединяются, именно потому некоторые особы женского пола могут довольствоваться узкой линией талии, которая подчеркивает более широкие места сверху и снизу.

Поясничные позвонки — самые большие и тяжелые в позвоночнике, потому что из-за прямохождения они поддерживают массу всей верхней половины тела. Шиловидные отростки этих позвонков более обрубленные и расположены дальше друг от друга, чем у шейных и грудных. Это дает человеку возможность довольно сильно прогибаться назад в талии. Если бы шиловидные отростки были такими же, как у грудных позвонков, их взаимное пересечение мешало бы позвоночнику прогибаться назад.

За поясничными позвонками следуют пять *крестцовых* позвонков, которые в некотором отношении отличаются от всех тех, что я описал до этого. Пять крестцовых позвонков у маленьких детей располагаются отдельно друг от друга, но с возрастом пространство между ними костенеет, и они сливаются в одну кость, называемую

крестец: у взрослых все, что указывает на изначальное разделение, — это четыре поперечные линии, там, где имело место срастание, и четыре пары отверстий по два с каждой стороны средней линии. Эти отверстия формируются, когда отростки примыкающих крестцовых позвонков сливаются в единое целое. Отверстия, такие, как эти, в кости, или в какой-либо другой сплошной структуре тела называются по-латыни foramina, единственное число — foramen.

Случай с крестцом показывает, что нельзя быть слишком уверенным и поспешным при описании строения человеческого тела. Оно имеет присущие только ему особенности. Легко сказать, например, что в позвоночном столбе человека 33 кости, но считать ли крестец одной костью или пятью? Ясно, что у младенца их пять, а у взрослого — одна. Если считать крестец одной костью, тогда в позвоночнике человека насчитывается всего 29 костей. Имеются случаи, когда у некоторых людей кости, например, срастаются, поэтому можно говорить лишь о приблизительном числе костей в человеческом теле, как я уже заметил в начале главы, когда сказал, что их чуть больше 200. Иногда число костей определяется точно как 206, по это не всегда так.

Крестец образует прочную кость, к которой надежно крепятся кости бедер у человека и задних конечностей у животных. У человека он пропорционально больше и сильнее, чем у других млекопитающих, поскольку человек — существо прямоходящее, на его скелет приходится значительная масса. Млекопитающие, которые приспособились к обитанию в море до такой степени, что у них отсутствуют задние конечности (например, киты и морские коровы), не имеют крестца, у них есть лишь ряд поясничных позвонков, идущих вниз к хвосту. Поскольку крестец тесно связан с костями бедра, а женские бедра шире мужских, то и крестец у женщин тоже шире. Это один из признаков, по которым анатом может отличить женский скелет от скелета мужского.



Позвонки последней группы у большинства

млекопитающих бросаются в глаза, поскольку являются *каудалъными* (от латинского слова «хвост»), или *копчиковыми.* Их много у млекопитающих с длинными хвостами. Можно подумать, что человек, который явно не имеет хвоста, обходится без каудальных позвонков, по это не так.

У человека ниже крестца располагаются четыре небольших позвонка, причем каждый последующий меньше предыдущего, и все они без позвоночной дуги. Это остатки того, что могло бы быть хвостом. У некоторых людей таких позвонков пять, и это еще одна причина для того, чтобы отказаться от категоричности суждений относительно числа костей в человеческом скелете. Все вместе эти последние позвонки образуют копчик, формой напоминающий клюв кукушки. Каждый такой позвонок называется копчиковым.

Дабы рассеять сомнения в том, что копчик представляет собой хвост, а не что-либо иное, следует обратиться к развитию человеческого эмбриона. На ранних стадиях у него образуется небольшая, но явно различимая область хвоста. К восьми неделям развития хвост исчезает, по его мимолетное существование позволяет утверждать, что человек произошел от какого-то животного с хвостом и все еще носит хвост спря-

танным под кожей, как последнее доказательство этого. Заметим, что горилла, похоже, гораздо дальше отошла от своего предположительно хвостатого предка, чем мы, так как сократила число копчиковых позвонков до трех, по сравнению с нашими четырьмя.

Позвоночный столб состоит не из одних только костей. Он также содержит хрящ, вещество, из которого был образован позвоночник первых позвоночных. Ребенок рождается со скелетом, по большей части состоящим из хрящевой ткани, и процесс окостенения продолжается до достижения взрослого возраста. В качестве примера возьмем участки ребер, прилегающие к грудине. Они представляют собой полоски хрящей, называемые реберными хрящами. Эти реберные хрящи, длинные у маленьких детей, становятся гораздо короче у взрослых.

Эластичность и гибкость хряща играет важную роль в позвоночном столбе. Между отдельными позвонками находятся обрубленные цилиндрические диски из волокон и хряща, содержащие в центре студенистое (желатиновое) вещество, которое можно считать последним напоминанием об изначальной спинной струне (хорде). Эти диски пористые и способные сжиматься, что

позволяет плавно сгибаться позвонку. Они также выполняют роль амортизаторов, поэтому позвоночный столб способен выдерживать внезапные изменения давления, которые возникают, скажем, при прыжке с высоты в шесть футов или при поднятии тяжести массой 100 фунтов. В пожилом возрасте диски утрачивают желатиновый центр, целиком и полностью становясь хрящами. Этим и объясняется характерная скованность движений, которая возникает в преклонном возрасте.

Межпозвоночные диски обрели определенную известность из-за изъянов, доставшихся нам из-за нашего вертикального положения. Вертикальное положение чрезвычайно полезно человеку с точки зрения освобождения его рук и кистей для целей иных, чем передвижение. Оно также придает ему дополнительный рост, позволяя извлечь больше пользы из органов осязания, расположенных на голове. Тем не менее, прямохождение — чудовищное извращение строения четвероногого животного.

На протяжении нескольких сотен миллионов лет строение наземных позвоночных соответствовало внутреннему скелету, состоящему из более или менее горизонтального (хотя и выгнутого) позвоночного столба, прочно уста-

новленного на четырех опорах. На протяжении более одного миллиона лет, или чуть меньше, различные человеческие и недочеловеческие виды довели всю структуру до конца. Несмотря на то что приспособляемость к подобным переменам впечатляет, нужно признать, что позвоночный столб не полностью приспособился к новой ситуации.

В результате кратковременного чрезмерного напряжения один из дисков может слегка выдвинуться между позвонков. Это чаще всего происходит в поясничной области, где, благодаря вертикальному положению, сосредоточиваются почти невыносимые нагрузки. Такой «выскочивший» диск будет, естественно, защемлять близлежащие нервы, вызывая мучительную боль — цена, которую мы (наряду с другими) платим за то, что несколько сотен тысяч лет назад встали на задние конечности.

Череп

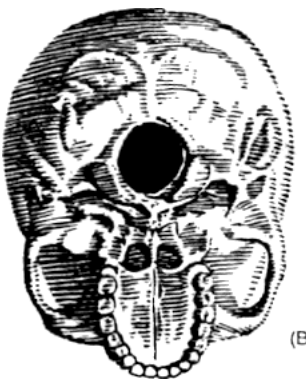
Верхняя часть позвоночного столба связана с черепом, который составляет костную основу головы и лица.

Главная часть скелета головы — это почти гладкая, яйцевидная конструкция, называемая cranium (от латинского слова «череп»). Она почти полностью вмещает мозг, единственный орган нашего тела, имеющий столь близко прилегающее костное покрытие. Можно считать, что мозг заключен в раковину.



У основания черепа находится отверстие, называемое по-латыни «foramen magnum» («большое отверстие»), которое соответствует увеличенной

нейралыной (верхней) дуге атласа, то есть первого позвонка. Шишки в нижней части черепа по обе стороны от большого отверстия точно совпадают с впадинами атласа. Такая костная шишка называется *мыщелок.* Через большое отверстие проходит утолщенный спинной мозг, внутри черепа он расширяется и образует головной мозг человека. В некотором отношении череп можно рассматривать как образующий гигантскую замкнутую нейральную дугу.



ЧЕРЕП
(ВИД СНИЗУ)

Развитие специализированной и довольно сложной костной структуры в районе переднего конца примитивного нервного тяжа является результатом процесса, который начался на до-

вольно раннем этапе истории эволюции. Как только появились многоклеточные организмы с двусторонней симметрией (задолго до первых наскальных рисунков первобытного человека), стало возможным обрести предпочтительное направление движения. С одной стороны плоскости симметрии будет голова, а с другой — хвост. Головой определялся конец, который указывал направление, в котором двигалось животное. Это означает, что именно голова всегда, так сказать, открывала новые земли и прокладывала путь в новое и неизведанное. Специальные органы для определения изменений в окружающей среде были наиболее полезны, если располагались на голове. Для того чтобы соотносить впечатления, полученные подобными «органами чувств», передний конец нервного тяжа имел тенденцию к усложнению.

Эта тенденция к разрастанию переднего конца нервного тяжа называется *цефализация* (от греческого слова «голова»), или образование головного конца эмбриона, и она обнаруживается у многих типов.

Хордовые, путем смещения нервного тяжа в дорсальное положение, похоже, в некотором смысле начали все сначала. По крайней мере,

ланцетник (хордовое, а не позвоночное) отличается полным отсутствием головы. У него нет выступающих органов чувств, нет разрастания нервного тяжа, фактически, само его название указывает на то, что у него отсутствует голова, о которой стоило бы говорить, и он в равной степени заостренный с обоих концов.

Цефализация началась с подтипа позвоночных и доведена у его представителей до величайших крайностей, какие только способен продемонстрировать животный мир. Бесчелюстные, у которых впервые образовались хрящевые позвонки для защиты нервного тяжа в целом, также обзавелись хрящевой коробкой, чтобы вместить и защитить увеличенный передний конец этого нервного тяжа. Кроме того, у бесчелюстных и их потомков — пластинчатых — образовался костный щит, чтобы защитить драгоценную и особенную область головы.

Довольно странно, но этот самый костный щит, который, казалось, исчезнет с вымиранием пластинчатых и покрытых панцирем бесчелюстных, оставил след на всех их лишенных брони потомках, включая и нас с вами. Доказательством тому служит развитие различных костных структур у эмбриона. Большинство костей организма об-

разовались в процессе окостенения изначально хрящевых структур, которые, таким образом, служат моделями для конечного продукта. Это так называемые хрящевые кости, и примером тому могут служить позвонки, ребра и грудина. Человеческий череп, однако, не развивался по хрящевой модели. Кости, составляющие его, начинают формироваться под кожей, словно возвращаясь к давно прошедшему времени, когда такая кость образовывалась скорее снаружи, чем внутри организма. Череп, очевидно, — это реликвия от внешнего панциря пластинчатых, функция которого сузилась. Вместо того чтобы защищать голову и переднюю часть вообще, он втянулся внутрь и стал служить тесным вместилищем мозгу, а также защитой для наиболее специализированных и наиболее уязвимых органов чувств[4].

У низших позвоночных строение черепа имеет тенденцию усложняться. Эволюция шла в направлении большей простоты и уменьшения числа отдельных костей. Рыбы имеют более 100 костей черепа, некоторые рептилии — только

[4] Примечания: 4

В этой книге я не буду касаться мозга, нервов и органов чувств, разве что мимоходом. Эта тема столь важна, что я планирую написать специальную книгу с подробным описанием нервной системы.

70, а примитивные млекопитающие — лишь 40. В отличие от них человеческий череп состоит всего из 23 костей, и только 8 из них хватает для того, чтобы образовать череп. В этом есть смысл, потому что костная структура, предназначающаяся для защиты, наиболее уязвима в местах сочленения, и чем меньше таких мест, тем прочнее конструкция.

Из костей черепа самая выпуклая *лобная* кость, представляющая собой одну кость, образующую лоб и переднюю половину верхней части черепа. Лобная кость внизу доходит до костного круга, окружающего глаз, который называется *глазной впадиной* (глазницей), и до верхней части носа. Непосредственно над каждым глазом имеется низкий костный бугор, проходящий вдоль лобной кости, который, возможно, изначально служил дополнительной защитой для глаза. Он очень ярко выражен у человекообразных обезьян и достаточно выражен у первобытного человека. Этот бугор все еще присутствует у взрослых мужчин, но совершенно отсутствует у детей и взрослых женщин (вот почему лоб женщины столь привлекательно гладок).

Позади лобной кости, образуя остов оставшейся верхней части черепа, располагается пара костей,

которые соединяются в середине верхней части. Это *париетальные (теменные)* кости, которые похожи на стенки мозга. Еще дальше назад находится одна кость, образующая поверхность задней части черепа. Это затылочная кость, в просторечье называемая затылком.

По обеим сторонам черепа, ниже теменных, расположены две *височные* кости. Они находятся в той части головы, которую обычно называют висками. Существуют несколько теорий о связи висков со временем, поскольку латинский термин, обозначающий *височную* кость, происходит от слова «время». Ни одна из них не является достаточно убедительной, но наиболее приемлемая такова: поскольку волосы со временем седеют прежде всего на висках, эта часть головы наиболее явно отмечает ход времени.

Все шесть костей, упомянутых до сих пор (лобная, затылочная, две теменные и две височные), составляют основную структуру черепа. Остаются еще две кости, которые не столь явно видны, потому что находятся в углублениях черепа и скрыты от нас глазами. Это — *клиновидная* и

решетчатая кости[5].

Можно предположить, что в ходе эволюции число костей черепа уменьшилось, так оно и есть, но, тем не менее, кажется, существует предел снижению числа костей.

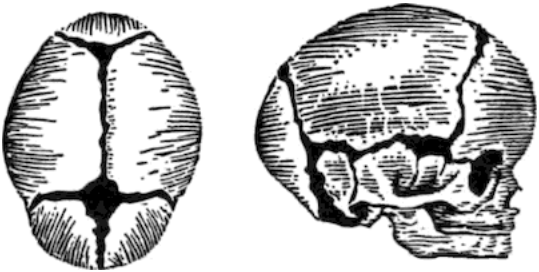
Кости черепа у новорожденного ребенка не соединены. При рождении в черепе имеется шесть порядочного размера щелей, еще неокостеневших. Они называются родничками, потому что в этих местах можно прощупать пульсацию кровеносных сосудов под кожей, которая врачам напоминает бьющую струю родника. Самый большой родничок находится на макушке. Любому родителю известно о наличии именно этого родничка, и особенно у первого ребенка.

Наличие таких рыхлых структур черепа у новорожденного важно для того, чтобы роды прошли нормально. Череп — самая большая часть плода, и, если он сумеет пройти через родовой канал, остальное тело преодолеет его без особого труда.

---

[5] Примечания: 5

Впервые обозначить части тела и конечно же дать им научные названия было и осталось утомительной и трудной задачей, однако анатомы, как древние, так и современные, старались сделать все, что было в их силах, и нашли яркие образы. Так, решетчатую кость сравнивали с решетом, потому что в ней есть много отверстий, или же особая форма кости вдохновила на название клиновидной кости.



Для того чтобы череп прошел через родовой канал, необходима определенная степень смещения костей, и пространства между костями ее обеспечивают.

После рождения окостенение продолжается, и ко второму году даже самый большой родничок закрывается. Однако полное окостенение отмечается в зрелом возрасте, что также жизненно важно, поскольку только при относительно незаконченном сочленении кости черепа могут увеличиваться в размерах и давать место растущему мозгу.

Когда рост завершается, кости черепа плотно срастаются вместе. Образовавшиеся границы представляют собой зазубренные неровные линии, как будто каждая кость пыталась как можно глубже врасти в соседнюю и это состязание закончилось вничью, когда одна преуспела в одном

месте, а другая уравняла шансы в другом. Такое сложное, извивистое соединение называется *шов.* Переплетающая линия шва такова, что кости нельзя отделить друг от друга, если только их не разбить. Следовательно, череп взрослого человека во всех отношениях представляет собой одну кость.

Лицо, хотя и обладает меньшей площадью поверхности, чем череп, костей имеет почти в два раза больше — 7 парных и 1 непарную, всего — 15. Начнем с того, что имеются 2 *носовые* кости, которые образуют спинку носа у его корня. Позади носовых костей находится *сошник* (от слова «соха»), названный так из-за своей формы, конечно, но такое сравнение непонятно современному урбанизированному населению. Сошник представляет собой костную часть тканей, разделяющих внутреннюю часть носа на две ноздри.

Таким разделителем является *носовая перегородка.* Нижняя часть перегородки не костная, а хрящевая, поэтому ее можно согнуть и перекрутить. Человеческий череп не содержит ничего, что указывало бы на наличие носа, существование которого у нас не вызывает сомнений, вследствие чего скелет имеет ужасающе безно-

сый вид, который добавляет ему уродства вместе с пустыми глазницами и оскаленной ухмылкой.

Задняя сторона ноздрей окаймлена *нижней носовой раковиной*, которая получила такое название из-за спиральной формы, подобной раковине улитки. Имеются также *средняя и верхняя носовые раковины*, которые являются не отдельными костями, а скорее отростками решетчатой кости.

Позади носовых костей расположены *слезные кости*, составляющие часть глазницы. Они названы так потому, что располагаются по соседству со слезными протоками.

Таким образом, в наличии имеются не менее 7 костей, составляющих нос и его окружение, — 2 носовые кости, сошник, 2 слезные кости и 2 нижние носовые раковины.

Большая часть фронтальной плоскости лица от глаза до верхней челюсти ужесточается *верхнечелюстными костями.* Эти кости сходятся посередине и образуют всю верхнюю челюсть. Она, в свою очередь, составляет часть верхней границы рта, проходит под щеками и достигает глаза, образуя часть глазной впадины. Позади верхнечелюстных костей в своде ротовой полости находятся гораздо более мелкие *нёбные* кости, также сходящиеся посередине, названные так по-

тому, что они составляют нёбо — задний свод рта. *Скуловые кости* образуют боковины лица впереди клиновидной и височной костей черепа. Они образуют костный выступ над верхней челюстью и в народе именуются «скулами». Скуловая кость также достигает границы глаза и составляет часть глазной впадины. Все это указывает на то, что каждая глазная впадина состоит из частей не менее семи костей лицевой и мозговой частей.

Все лицевые кости, которые я перечислил, неподвижно присоединены друг к другу и к черепу, поэтому лицевая часть черепа, по крайней мере вдоль линии верхней челюсти, представляет собой единое целое. Но в голове есть еще одна кость, и она подвижная. Естественно, я имею в виду нижнюю челюсть.

Как я уже говорил, нижняя челюсть позвоночных изначально образовалась у пластинчатых из первой жаберной дуги. Изначально нижняя челюсть была отделена от остального скелета головы. У акул дело обстоит именно так. Однако у костных рыб верхняя челюсть слилась с черепом, и такая же ситуация у всех их четвероногих потомков. Нижняя челюсть присоединена с помощью сустава к задней части верхней челюсти и должна конечно же оставаться подвижной,

если нужно было сохранить способность кусать и жевать.

Здесь эволюционный процесс тоже шел в направлении снижения числа костей и, следовательно, укрепления строения. Многочисленные кости нижней челюсти рептилий уменьшились до двух, по одной с каждой стороны, у млекопитающих, и эти две сливаются в одно целое ко второму году жизни человека. Эта единственная кость нижней челюсти называется *мандибула* (от латинского слова «жевать»).

Человек, как и все млекопитающие, не полностью утратил следы остальных костей нижней челюсти рептилий. По мере того как мандибула увеличивалась в размерах, она в конце концов отодвинула остальные кости назад, некоторые оказались в среднем ухе. Их 6 — по 3 в каждом среднем ухе. Из-за своей формы они названы *стремя* (слуховая косточка), *молоточек* и *наковальня.* Из них стремя считается остатком скорее второй жаберной дуги, чем первой, из которой образовалась почти вся нижняя челюсть.

Косточки обычно не считаются костями черепа, так же как и одна из костей, расположенная у основания языка, *гиоидная* («U-образная» по-гречески) кость. Это также остаток второй жаберной

дуги. Хотя ее иногда называют *подъязычной костью*, она находится вовсе не в языке, а между мандибулой и голосовой полостью, и необычно то, что она не присоединена ни к одной другой кости, пребывает в полной изоляции. У рыб эта кость служит важным связующим звеном между нижней челюстью и остальным черепом, но утратила эту функцию у человека.

Зубы

На верхней и нижней челюсти человека располагаются различные зубы. Это не кости. Они твердые, разумеется, даже тверже костей, и состоят в большей степени из фосфорнокислого кальция, по структура зубов значительно отличается от структуры костей.



Зубы возникли у примитивных акуловых рыб и, вероятно, вначале представляли собой видоизмененную рыбью чешую. Сначала они были не дифференцированы, все имели простую коническую форму. Их было много, и они менялись по мере изнашивания. Тенденция эволюции,

однако, состояла в том, чтобы снизить количество зубов и число их замен. Более того, группы зубов видоизменились, приспосабливаясь для различных функций.

У высших млекопитающих число зубов снизилось максимально до 44; это максимальное количество обнаруживается у собак и свиней, к примеру, хотя у многих других млекопитающих (и у человека) это число значительно меньше. Зубы млекопитающих подразделяются на четыре разные группы, и все эти группы представлены во рту у человека.

Спереди во рту расположены *резцы* (от латинского слова «врезаться»). Это долотообразные зубы с режущей поверхностью в виде узкой линии, так что, когда верхние и нижние резцы встречаются, они действуют как ножницы. Для осуществления этого действия с предельной эффективностью, когда челюсть закрывается, нижние резцы должны заходить вверх чуть сзади верхних и входить в контакт с их задней поверхностью. Если верхние резцы слишком выдаются вперед или нижние уходят далеко назад так, что между ними при закрытой челюсти образуется зазор, то эффективность их функции снижается. Это разновидность неправильного прикуса.

Следом за резцами находятся *клыки* (от латинского слова «собака»), конические разрывающие зубы, которые наименее специализированы и наиболее походят на зубы собаки. У собак эти зубы выступающие. Клыки верхней челюсти часто называют *глазными* зубами, исходя из ошибочного представления, что их корни каким-то образом соединяются с глазами.

Затем идут *малые коренные* зубы, или *премоляры*, которые по виду напоминают двойные клыки, поскольку, видимо, состоят из двух слившихся друг с другом конусов.

И наконец, идут *большие коренные* зубы, или *моляры* (от латинского слова «жернов»), рабочие поверхности которых имеют четыре или пять тупых выступов, или вершин, которые сливаются в неровную поверхность. Пищу они перемалывают, подобно жерновам, поскольку нижняя челюсть движется из стороны в сторону. Эти зубы называют коренными.

Среди полного набора из 44 зубов, который имеют высшие млекопитающие, 12 резцов, 4 клыка, 16 премоляров и 12 моляров. Зубы располагаются симметрично по обе стороны средней линии лица, поэтому при перечислении зубов определенного вида достаточно пронумеровать

их только с одной стороны рта, другая сторона предположительно идентична (за исключением потери зубов из-за болезни или несчастного случая). Проставляются числа в том порядке, в каком зубы находятся во рту: резцы, клыки, премоляры и моляры. Формула зубов для лошади или свиньи может быть представлена таким образом:

$$\frac{3 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 3}{3 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 3}$$

Однако у многих млекопитающих не только уменьшилось число зубов, но и акцент сместился с одной группы зубов на другую. У грызунов увеличены резцы, являются самыми выступающими зубами во рту и непрерывно растут, заменяясь новыми по мере того, как стачиваются, оттого что животное постоянно что-то грызет. У плотоядных животных, например у тигра, увеличены клыки. У травоядных животных, таких, как крупный рогатый скот и лошади, которые должны постоянно перемалывать грубые зерна и траву, моляры развиты больше остальных зубов и имеют чрезвычайно затейливую перетирающую поверхность.

Особое назначение зубов иногда приводит к тому, что они достигают гротескных размеров, как

бивни у слонов, которые являются разросшимися верхними резцами, или моржей, представляющие собой разросшиеся верхние клыки.

В то же время зубы, которые не приносят пользы для животного, могут вообще исчезнуть. У крупного рогатого скота отсутствуют резцы и клыки верхней челюсти, а у кашалота совсем нет зубов в верхней челюсти. У нарвала, говорят, есть только два зуба, один из которых у самцов растет вперед в форме витого клыка длиной до 8 футов. У муравьеда вообще нет зубов, так же как и у целого класса птиц.

Зубы человека значительно менее специализированы, чем зубы большинства млекопитающих. Возможно, это ключ к нашему успеху, поскольку мы не посвящали себя в значительной степени какому-то одному направлению.

Зубы человека маленькие, принимая во внимание наш размер и вес, но это следствие общего уменьшения лица человека за более чем миллион лет эволюции. У большинства животных лицевая часть головы выдвинута вперед и образует морду, так что челюсти могут хватать, в то время как глаза — видеть. Челюсти, следовательно, достаточно большие, чтобы вместить большие зубы. Развитие у человека и родствен-

ных животных руки, способной брать пищу и подносить ее ко рту, сделало морду ненужной. Небольшие по размеру челюсти вмещают только небольшие по размеру зубы.

По этой же причине зубы взрослого человека не могли соответствовать принятой норме полного числа зубов, кратного 12. И все-таки, несмотря на эту потерю, мы сохранили некоторые из каждой разновидности зубов и не развили никакие из них чрезмерно, а имеем равное число зубов как на верхней, так и на нижней челюсти.

Зубная формула человека такова:

$$\frac{2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3}{2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3}$$

Млекопитающие в основном имеют два набора зубов на протяжении своей жизни. Причина тому ясна. Челюсть молодого млекопитающего слишком мала, чтобы соответствовать размеру и числу зубов, которые потребуются взрослой особи. Не можем мы ожидать и того, что зубы прорежутся маленькими и станут расти вместе с ребенком, поскольку, как только зубы прорезались, они теряют способность к дальнейшему росту.

У ребенка, к примеру, сначала прорезываются 20 маленьких зубов. Их называют по-разному:

временными зубами (поскольку они неизбежно выпадут) или молочными зубами, потому что первый зуб появляется у ребенка, когда он в основном еще питается молоком, а также младенческими зубами.

При рождении эти зубы уже формируются в деснах, но первые из них, два нижних средних резца, не прорезываются через десны до второго года жизни. Процесс прорезывания зубов на удивление болезненный, и в период, когда у ребенка режутся зубки, он становится капризным, и это огромное испытание для его родителей. Когда ребенку исполняется два или два с половиной года, процесс может прекратиться, и в этот момент его зубная формула следующая:

$$\frac{2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0}{2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0}$$

Как вы можете видеть, резцы, клыки и премоляры в том же количестве, что у взрослого. Не хватает 12 моляров. Хотя 8 самых дальних детских зубов и называются молярами, они заменяются взрослыми премолярами. Настоящие взрослые моляры появляются заново и без всяких предшественников.

Первыми из постоянных зубов, приблизитель-

но в возрасте шести лет, появляются первые моляры. Они выходят позади молочных зубов в челюсти, которая к тому времени достаточно вырастает, чтобы вместить их. После этого молочные зубы начинают выпадать спереди, продвигаясь назад. Обычно между прорезыванием первого зуба и появлением второго наступает перерыв, отсюда и характерная беззубая улыбка шести– или семилетнего ребенка.

К тому времени, когда ребенку исполняется двенадцать лет, первые зубы полностью заменены, и только в подростковом возрасте появляются вторые и третьи моляры, челюсть к тому времени почти достаточно выросла, чтобы вместить их. Я говорю «почти», потому что на самом деле человеческая челюсть в большинстве случаев не вырастает достаточно большой, чтобы благополучно вместить третий и последний набор моляров. Прорезывание этих зубов обычно задерживается до двадцатилетнего возраста, чтобы дать челюсти, так сказать, последний шанс. По этой причине третьи моляры в народе известны как «зубы мудрости», поскольку они появляются лишь в том возрасте, когда их владелец может считаться достигшим возраста мудрости.

В некоторых случаях один или более, бывает,

даже все четыре зуба мудрости вообще не прорезаются. Это не большая потеря, потому что для рациона современного человека хватит и восьми моляров. К тому же, появляясь, зубы мудрости зачастую неловко теснятся в челюстях и даже могут быть так тесно втиснуты (плотно сжаты) между челюстной костью и вторым моляром, что их удаление, необходимое из-за гниения, к которому эти зубы слишком склонны, становится делом оперативного вмешательства.

Есть веская причина полагать, что зубы мудрости находятся на пути к исчезновению и через относительно короткое (с эволюционной точки зрения) время число зубов у человека снизится до 28.

Глава 3
Конечности и суставы

Руки

Череп, позвоночный столб, ребра и грудина, вместе взятые, представляют собой *осевой скелет*, образующий ось тела. С точки зрения эволюции это был первоначальный скелет. Кости конечностей и структуры, относящиеся к ним, образуют *добавочный скелет* (что по-латыни значит «свисать»), поскольку конечности действительно, так сказать, «свисают» прямо с туловища. Иначе говоря, они придатки. Изначально добавочный скелет был небольшим по сравнению с осевым скелетом, поскольку, впервые появившись у поздних пластинчатых и ранних акул, он был нужен только для обрамления похожих на обрубки плавников.

У четвероногих конечности должны были стать больше и сильнее, чтобы поддерживать тело, противодействуя силе гравитации, и эта тенденция продолжалась у млекопитающих. Более длинные конечности приподняли туловище вместе с головой и органами чувств над землей, отчего поле зрения стало больше, а возможности слышать на большем расстоянии и распознавать запахи шире. Более того, чем длиннее ноги,

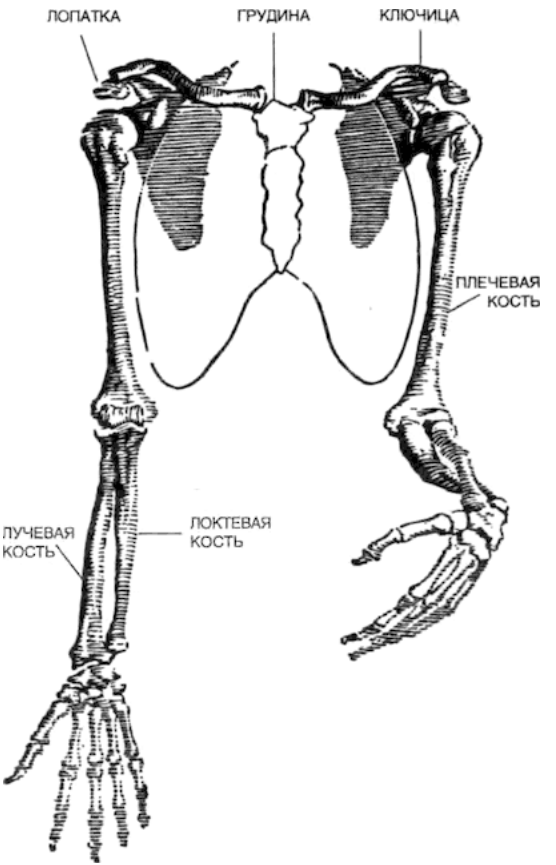
тем быстрее движения в чрезвычайных обстоятельствах. Длинноногое животное может бегать быстрее, чем коротконогое, что ценно как при преследовании, так и при погоне. Это закономерно также и для нелетающих птиц — вспомним, к примеру, длинноногого страуса.

Человек разделяет эту тенденцию с млекопитающими, поэтому ноги у нас длиннее туловища, а в добавочном скелете находится больше костей, чем в осевом. Именно костям ног человек в большей мере обязан различиями в росте. Человеческий позвоночник имеет длину в среднем 28 дюймов у мужчин и 24 дюйма у женщин, с на удивление небольшими различиями от человека к человеку. Именно лишняя длина или ее недостаток в костях ног ответственны за разницу в росте. Вы можете убедиться в этом своими глазами, если посмотрите на группу не отличающихся друг от друга сидящих людей, которые, встав, вдруг становятся совершенно разными по росту.

У разнообразных четвероногих конечности подверглись модификациям, подходящим образу жизни определенного существа. В случае с млекопитающими, которые вернулись к водному образу жизни, конечности вновь приобрели почти рыбообразную обрубковость и стали ластами

(у китов и морских коров задние конечности полностью исчезли, по крайней мере насколько это касается любого внешнего доказательства).

У птиц и летучих мышей передние конечности модифицировались в крылья, и в случаях, когда птицы теряли зрение, эти крылья уменьшались. А у новозеландской птицы киви они почти исчезли. У животных, которые скачут или прыгают, таких, например, как кенгуру, в виде излюбленного средства передвижения несколько увеличились задние конечности, а у тех, которые качаются на ветках деревьев, подобно гиббону, сильнее развиты передние конечности.



Однако все животные сохранили одинако-

вую базовую костную схему. Именно основное сходство кости человеческой руки, китового плавника, крыла летучей мыши и медвежьей лапы одно из наиболее поразительных проявлений близкого родства у позвоночных.

И в случае с конечностями, так же как с зубами, человеческое существо не специализировано. За исключением удлинения некоторых костей, руки современного человека остаются в высшей степени подобны конечностям, которые имели древние четвероногие.

Кости руки соединены с осевым скелетом посредством двух пар костей в верхней части туловища — одной пары впереди и другой сзади. Те, что расположены сзади, — это *лопатки* — широкие плоские кости, которые выступают под кожей, подобно сложенным крыльям. Официальное название лопатка получила из-за схожести с рабочей поверхностью лопаты. Лопатка проходит дорсально относительно ребер, но не соприкасается с ними, поскольку между ними находится связывающий слой мышц.

Пара костей впереди, проходящая вентрально по отношению к грудной клетке и сразу же над первым ребром, — это *ключицы.* Вы можете нащупать их у основания шеи. Это длинные узкие

кости, слегка изогнутые, подобно латинской строчной букве «*f*», изображенной курсивом. Некоторым кажется, что по форме они походят на старомодный ключик, что и отразилось в ее общеизвестном названии — ключица. Конец ключицы рядом со средней линией тела примыкает к верхнему краю грудины, а другой ее конец примыкает к лопатке. Ключица — это важный элемент детского суеверия, так как у птиц эта пара косточек крепко соединена, образуя всем знакомую V-образную дужку — «косточку загадывания желаний».

Если вы посмотрите на эти кости сверху, они покажутся образующими двойной серп, почти окружающий верхнюю часть тела. Это не полный круг, поскольку имеется небольшой пробел размером около дюйма между двумя ключицами и несколько больший — между двумя лопатками. Однако если вы примете во внимание грудину и позвонки между ними, то можете считать все кости грудным поясом.

К грудному поясу примыкают кости самой руки. Руки делятся на три сегмента — *плечо, предплечье* и *кисть.* Ноги человека и фактически все конечности четвероногих точно так же делятся на три части.

При описании строения конечностей полезны прилагательные «проксимальный» (что по-латыни означает ближайший) и *дистальный* (возможно, этот термин произошел от слова «дистанция»). Та часть конечности или любого вытянутого органа, которая является ближайшей к туловищу или середине тела, — это проксимальная часть. Противоположный конец будет дистальной частью. Так, плечо — это проксимальная часть, кисть — дистальная, а предплечье — промежуточное звено.

У всех четвероногих проксимальная часть конечности содержит только одну кость, в то время как промежуточная — две. Это правило верно и для человеческой руки. По мере того как удлиняются конечности, эти кости тоже удлиняются и становятся длинными костями тела.

Плечо содержит одну длинную кость — humerus (что по-гречески означает «плечо»), или *плечевую кость*[6]. Предплечье содержит две длинные кости — radius (от латинского слова «луч»), или *лучевую кость*, и ulna (что по-латыни означает

[6] Примечания: 6

Почти невозможно удержаться, чтобы не предположить, не плечевая ли кость, случайно, дает нам то самое неприятное ощущение покалывания, когда мы ударяемся локтем. Без всяких сомнений плечевая кость заканчивается рядом с тем местом, каким мы обычно ударяемся, но источником этого ощущения является вовсе не кость, а нерв.

«локоть»), или *локтевую кость.* Лучевая кость, что следует из ее названия, исходит из центра наружу, а слово «radius» изначально обозначало спицу колеса. Лучевая кость предплечья явно кажется достаточно прямой, чтобы быть такой спицей, отсюда и ее название. Локтевая кость тоже названа соответственно — она действительно та самая кость, что заканчивается локтевым суставом.

Дистальная часть конечности содержит много костей, точнее, 27. Такая ситуация восходит к тем временам, когда похожие на обрубки конечности были сглажены большим количеством небольших, неправильной формы косточек. Всего одна кость превратила бы плавник в негибкое и неэффективное весло. Одиночная цепочка костей позволила бы ему сгибаться точно так же, как сгибается наш позвоночный столб, но только как единое целое. Некоторые кости развернулись в две плоскости — в длину и ширину — и приобрели способность скользить друг относительно друга до определенной степени, что ввело двухмерную гибкость и обеспечило сложность маневра, необходимого для эффективного управления. Три из этих костей удлинились и образовали более вытянутые верхние и ниж-

ние конечности, необходимые четвероногому животному, но дистальная часть конечностей сохранила оставшиеся косточки.

Когда первые амфибии выбрались на грязные приливные просторы и стали жить на суше, им потребовалась не только более энергичная поддержка их конечностей, но также и расширенная поверхность там, где конечность соприкасалась с землей, чтобы предохранить ее от погружения в жидкую грязь, — эффект, похожий на тот, что дают снегоступы.

Для этой цели небольшие косточки в дистальном конце конечности расплющились (вероятно, между ними имелись перепонки), чтобы более равномерно распределять массу тела при наступании на грязь. У каждой конечности появилось несколько косточек-пальцев, и изначальное их число у примитивных животных было по пять на каждой конечности. Кажется, особой причины, почему их должно быть именно пять, нет, но так уж получилось, и ни одно четвероногое не имеет больше пяти пальцев на любой из конечностей.

Зачастую в процессе эволюции наблюдается тенденция к снижению числа пальцев. Тем, кто обитает на твердой почве, расширенная конечность нужна в гораздо меньшей степени. Вместо

этого куда важнее обзавестись мясистой подушечкой или ороговевшей оболочкой, чтобы они смягчали толчки и удары, позволяли совершать скачки, которые сопровождают быстрый бег. У тех, у кого развилась подушечка, пальцы уменьшились в размере и стали простым устройством для когтей, как у кошки. У тех же, у кого образовалась ороговевшая оболочка (копыта), число пальцев имеет тенденцию снижаться, чтобы отдельное копыто могло стать больше и сильнее. У носорога осталось всего три пальца, у крупного рогатого скота, оленей и жвачных животных их в основном по два, лошадь и родственные им животные довели этот процесс до логического завершения и имеют всего один ороговевший палец на каждой конечности.

Человеческая рука сохранила пять длинных маневренных пальцев. Конечно, нам они нужны совсем не для поддержания тела на топкой поверхности. Скорее мы превратили руку в превосходный орган манипуляции, несравненно лучший из такого сорта во всем царстве живого — с четырьмя проворными пальцами и большим пальцем напротив так, что вместе они могут использоваться для изящного захвата или крепкого сжатия, скручивания, изгиба, для того, чтобы

тянуть или толкать, а также играть на пианино или стучать по клавишам пишущей машинки.

Костное строение первобытного плавника сохранилось в запястье, где восемь неправильной формы косточек, расположенные в два ряда по четыре в каждом (все близко прилегающие друг к другу), способствуют гибкости. Запястье может легко сгибаться вперед и назад и несколько ограниченно влево и вправо.



Эти восемь косточек являются *запястными* костями, а по отдельности они названы в зависимости от того, что каждая кость напомнила цветистому воображению древних анатомов. Это

— *ладьевидная* кость, *лунообразная*, *трехгранная* кость (запястья), *гороховидная*, *большая многоугловая*, *малая многоугловая*, *головчатая* (то есть в форме головки) и *крючковидная* кость запястья.

Сама кисть состоит из 19 костей, расположенных в пять рядов. Четыре ряда содержат по 4 косточки, пятый — по 3. Пять косточек, которые примыкают к запястным, — это *пястные* косточки. Их окружают мягкие ткани, и они образуют ладонь кисти, довольно легко прощупать пять отдельных косточек под кожей с тыльной стороны руки. Пястные кости пронумерованы от единицы до пяти, начиная от большого пальца. Вторая, третья, четвертая и пятая пястные кости фактически параллельны и неподвижны, а первая расположена под углом к ним и имеет ограниченную подвижность.

К пястным костям примыкают фаланги пальцев. Фалангой в Древней Греции назывался замкнутый боевой порядок солдат, стоящих бок о бок. Косточки пальцев, расположенные в столь же тесном порядке, напоминали древнегреческую фалангу, поэтому и получили такое название. Каждый палец, за исключением большого, состоит из трех фаланг, уменьшающихся по мере продолжения дистально. У большого пальца

только две фаланги. Некоторые анатомы находят возможным считать, что большой палец имеет тоже три фаланги, принимая за фалангу первую пястную кость. Будь это так, первая фаланга большого пальца соединялась бы непосредственно с запястной костью, и тогда насчитывалось бы только четыре пястных кости вместо пяти.

(Отсутствие плоти у скелета позволяет пястным костям прибавить длину фалангам, и рука скелета имеет неправдоподобно длинные пальцы. То, что кажется у скелета ладонью, в действительности запястье.)

Между прочим, каждый палец имеет официальное анатомическое название. Большой палец, или pollex, по-латыни «сильный», потому что он сильнее остальных пальцев, вы убедитесь в этом, если захотите воткнуть кнопку в деревяшку, наверняка удобнее всего это окажется сделать большим пальцем, нежели каким-либо другим. Остальные четыре пальца называются по порядку: *указательный, средний, безымянный* и *мизинец.*

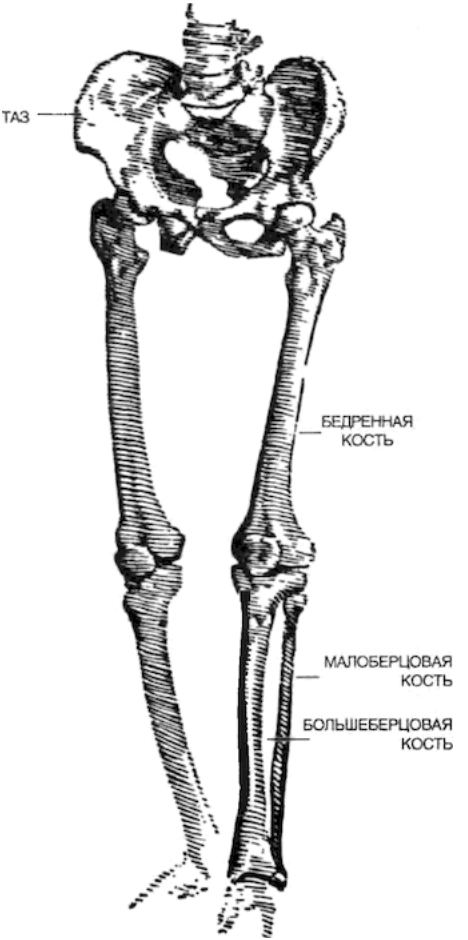
Ноги

Ноги, которые у двуногого человека выдерживают главный удар, служа опорой и средством передвижения, длиннее, сильнее и более специализированые, чем руки. Однако сходные черты, указывающие на общий замысел всех четырех конечностей, угадываются безошибочно. Начнем с того, что если имеется грудной пояс, то имеется и другой пояс (гораздо тяжелее и сильнее), к которому прикрепляется нога. Этот нижний пояс состоит из трех парных костей: *подвздошной, седалищной* и *лобковой* костей. По одной такой кости расположено по обе стороны средней линии, а все вместе они образуют костную структуру бедер.

Подвздошная и седалищная кости — плоские, неправильной формы, подвздошная кость выше, а седалищная ниже. Вы можете почувствовать подвздошный гребень по обеим сторонам тела сразу за линией талии. Вы сидите именно на седалищных костях и мышцах, прикрепленных к ним.

Впереди расположена кость, которая меньше, чем подвздошная и седалищная. Это лобковая

кость. Она примыкает к седалищной кости таким образом, что образует два больших отверстия внизу гребня, которые сразу бросаются в глаза, если рассматривать непосредственно скелет. Это — *запирателъные отверстия*, потому что в обычной жизни они почти целиком покрыты оболочкой. Общий признак половой зрелости — это появление волос в области гениталий. Такие волосы называют *лобковыми* волосами, а кость, которая обнаруживается сразу под этой областью, — лобковой.


ТАЗ
БЕДРЕННАЯ КОСТЬ
МАЛОБЕРЦОВАЯ КОСТЬ
БОЛЬШЕБЕРЦОВАЯ КОСТЬ

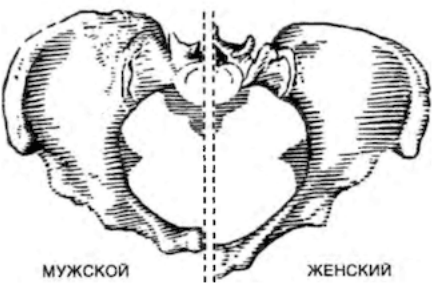
У ребенка эти кости отдельные, но к двадцати пяти годам они прочно сливаются в одну кость, которую в обиходной речи называют *таз.* Более официальное ее название *тазовая кость.* До того как это довольно очевидное название было принято, чаще всего употреблялось и употребляется до сих пор название *безымянная кость*, или, на латыни, *os innominata*, потому что, хотя каждая из трех парных костей и имеет название, все три вместе общего названия не имеют.

Две тазовые кости встречаются впереди, где лобковая (лонная) кость присоединяется с помощью хрящевой прослойки, несколько напоминающей те, что находятся между позвонками. Это — *лобковый симфиз* (что по-гречески значит «сращение»). Дорсально две подвздошные кости не встречаются. Они присоединяются к крестцу, по одной с каждой стороны. Слияние пяти крестцовых позвонков, таким образом, придает структуре бедра жесткость. Крестец и подвздошная кость соединены настолько прочно, что о них принято говорить как о единой кости — *крестцово-подвздошной.* По той причине, что поясница доставляет человеку немало беспокойства из-за несовершенства «двуногой» конструкции, это слово приобрело не совсем приятный подтекст.

Тазовая кость и крестец, взятые вместе, образуют замкнутый костный пояс, более крепкий, чем подобные структуры у других млекопитающих. Это неудивительно ввиду прямохождения человека. Более того, ни у одного другого млекопитающего тазовые кости не образуют такую округлую, похожую на корзину конструкцию. Это опять-таки следствие прямохождения. У четвероногих органы внутри брюшной полости подвешены к спинному хребту и опираются на вентральную мышечную брюшную стенку. У человека брюшная стенка вертикальная (во всяком случае, должна быть такой) и не может служить опорой. Именно тазовые кости должны выполнять эту функцию, чему и способствует их форма, напоминающая корзину. Действительно, область бедер называется тазом, а кольцо костей — это пояс нижних конечностей, или тазовый пояс, что слишком соответствует его форме. К несчастью, таз не вполне приспособлен для такой цели. Таз наклонен вперед (человек ходит на двух ногах всего несколько сотен тысяч лет, а для того, чтобы приспособить конструкцию к такому радикальному нововведению, требуется гораздо более продолжительный период времени), поэтому опора не всегда удовлетворительна.

Тазовый пояс, между прочим, предлагает простейший способ отличить скелет женщины от скелета мужчины.

СРАВНЕНИЕ (ВИД СВЕРХУ) ТАЗОВОГО ПОЯСА



Женщине в брюшной полости необходимо пространство для развития ребенка, и костное кольцо, образованное тазовым поясом, должно быть достаточно большим, чтобы обеспечить выход младенца, весящего 7 фунтов или более. По этой причине женский тазовый пояс в среднем на 2 дюйма шире, чем мужской, хотя кости сами по себе тоньше и легче. Эта дополнительная ширина тем более очевидна из-за меньшего размера остальных частей скелета женщины по сравнению с мужским скелетом.

Угол, который составляют две лонные кости,

встречающиеся в месте лонного сращения, гораздо больше у женщин (он составляет около 90 градусов), чем у мужчин (только 70 градусов). В результате всего этого у женщин более выступающие бедра, которые необходимы для беспрепятственного выполнения ею роли матери и благодаря загадочной мудрости Природы оказываются привлекательными для представителей мужского пола, какой бы ни была мода.

К тазовому поясу примыкает бедренная кость, которая является проксимальной частью ноги. Она, как и проксимальная часть руки, содержит одну длинную (трубчатую) кость. Эта *бедренная кость*, или *бедро*, самая длинная кость тела, составляет около $^{2}/_{7}$ роста человека. На ее проксимальном конце имеется очень характерная округлая головка, которая смещена к одной стороне и входит в округлую ложбинку, или впадину в тазовой кости. Эта впадина по-латыни называется acetabulum, или *вертлужная впадина.* Она носит такое название, потому что похожа на круглую чашу, которую в Древнем Риме использовали для хранения уксуса (acetum).

Средняя часть ноги, как и такая же часть руки, содержит две кости. Однако в то время как две кости руки почти равны по размеру, аналогичные

кости в ноге вовсе не равны по длине. Большая из двух — это *большеберцовая (тибиалъная)* кость (от латинского слова «флейта», ибо и длиной и формой она напоминает этот музыкальный инструмент). Большеберцовая — это вторая по длине кость тела. Она проходит сразу под кожей в передней части ноги, и вы легко можете ее нащупать. На дистальном конце, в лодыжке, она образует выпуклость, которую вы можете нащупать на внутренней стороне лодыжки как некий костный бугорок.

Меньшая кость средней части ноги по длине такая же, как тибиальная, но гораздо тоньше и обычно называется *малоберцовой костью*, поскольку кажется, что ее отломили от большеберцовой кости. Она самая тонкая из костей в организме, если соотносить ее толщину с ее длиной. Официальное латинское ее название — «fibula» (что значит «булавка»), также указывает на это: подразумевается, что по отношению к большеберцовой кости она похожа на булавку от броши. Почти по всей длине малоберцовая кость спрятана глубоко под мышцами и пальцами не прощупывается. На дистальном конце, однако, она образует заметный костный выступ на внешней стороне лодыжки.

Надколенник, который является суставом, соединяющим проксимальный и средний отдел ноги, отличается от своего аналога — локтя тем, что имеет отдельную кость. Это маленькая, плоская, треугольная *коленная кость*, или *коленная чашечка.* Она защищает важный сустав, который в обычном процессе ходьбы и особенно при беге постоянно выбрасывается впереди тела. Подобно подъязычной кости, коленная чашечка непосредственно не связана ни с одной другой костью, хотя поддерживается на месте мышцами. Если вы расслабите мышцы ноги, то обнаружите, что можете немного сдвинуть коленную чашечку почти в любом направлении.

Дистальная часть ноги содержит лодыжку и ступню, которые аналогичны запястью и кисти руки. Лодыжка, подобно запястью, состоит из нескольких косточек неправильной формы, но их всего семь, по сравнению с восемью в запястье. Кости лодыжки образуют *предплюсну*, по-гречески tarsus (что значит «плетеная корзина», название, очевидно, произошло оттого, что отдельные кости, расположенные в столь тесной близости, похожи на переплетающиеся прутья корзины). Одна из костей предплюсны calcaneus, или *пяточная кость*, отходит, судя по

ее названию, назад от пятки. Это самая большая кость предплюсны.

Такое продолжение пяточной кости назад кажется попыткой сделать опору человека на две ноги более устойчивой. Любой предмет, опирающийся на две узкие опоры, в лучшем случае находится в неустойчивом равновесии, и любое сотрясение опрокинет его. В результате вытягивания пятки назад опора усиливается и даже приходится на четыре точки. Человек стоит не на двух ступнях, а на двух подошвах и двух пятках. Это не слишком большой шаг в направлении устойчивости, но он отвечает поставленной цели. Осторожный взрослый человек может иногда годами ходить не падая.

Остальные шесть костей предплюсны — это *таранная, кубовидная, ладьевидная*, а также *первая, вторая* и *третья клиновидные кости.* Пяточная и таранная кости имеют форму неровного куба, такой же формы и кубовидная. Солдаты Древнего Рима пользовались такими костями (обычно лошадиными) для игры в сделанные на скорую руку «кости». По этой причине таранная кость в особенности иногда называется *астрагалом* — astragalus, что по-латыни значит «умереть».

Точно так же, как рука состоит из пястных

костей и фаланг, стопа состоит из пяти параллельных костей плюсны плюс пять наборов фаланг. Как на руке первый палец — *большой палец стопы*, или, по-латыни, hallux — имеет две фаланги, другие пальцы — три.

Стопа — одна из наиболее специализированных частей человеческого скелета. Она получила пятку и утратила характерные черты руки, присущие стопам наших древних предков.



У сохранившихся до наших дней человекообразных обезьян и мартышек задние лапы очень похожи на передние (руки). У этих животных большие пальцы расположены почти под прямым углом к другим и довольно сильно отделены от остальных пальцев, так что стопу можно использовать для хватания. Поэтому человекообразных обезьян и мартышек иногда называют

четверорукими.

У человека большой палец стопы в качестве признака совершенно другой специализации расположен параллельно другим пальцам, а не противопоставлен им. Фаланги других пальцев сократились почти до минимума, и стопа стала почти одним целым. У человека каждая пара конечностей имеет свою функцию: руки предназначены для хватания, а ноги для опоры, в то время как у других приматов все конечности взаимозаменяемые.

Использование только двух конечностей в качестве опоры влияет на нас по-другому. Большинство млекопитающих сократили функцию опоры конечностей, «поднявшись на цыпочки», таким образом добавив длину плюсны к своему росту. Такие существа называются пальцеходящие, и самым известным примером могут служить кошки и собаки. Дополнительный рост, как мы уже говорили, обеспечивает лучшее расположение органов чувств, а также большую скорость передвижения, но уравновешивается гораздо меньшей площадью стопы, касающейся земли, и, следовательно, увеличением нагрузки на стопу. Очевидно, в этом случае преимущества перевешивают недостатки.

Копытные животные пошли еще дальше и поднялись на все фаланги, кроме дисталыной. Эти животные добавили две фаланги к росту, и все закончилось тем, что они фактически ходят на цыпочках. Это хорошо, если имеются четыре широко расставленные опоры. Человек, имеющий всего две опоры, не может позволить себе такой роскоши. Он должен широко расставлять ноги и крепко опираться на землю фалангами и плюсной. Если ему нужно увеличить рост, он должен делать это только за счет удлинения костей бедра и голени. Он — стопоходящий.

Имеются также и другие стопоходящие животные, а именно медведь, который умеет принимать вертикальное положение лучше, чем большинство четвероногих. Человек превосходит медведя (а также других стопоходящих млекопитающих), используя пяточную кость, он ходит частично на голеностопном суставе.

Подошва человеческой стопы не прямая по той же самой причине, что и позвоночный столб четвероногого животного. Для прочности конструкции нам нужен изгиб — свод, и он имеется у нас на подошве. Таким образом, масса перемещается с пятки на подъем свода стопы, и к тому же толчки при хождении поглощаются из-за

эластичности, когда масса постоянно перемещается с одной ноги на другую. (Эта особенность присуща человеческой стопе, у человекообразных обезьян нет свода стопы.) Но и в этом случае приспособленность к прямохождению не без изъянов. Структуры, образующие свод стопы, могут не выдерживать массы и расплющиваться. Плоскостопие, которое возникает в результате этого, снижает эффективность ходьбы и может даже вызывать болезненные ощущения при длительной ходьбе, поскольку следующие один за другим толчки, относительно непогашенные, передаются в позвоночный столб и в череп.

Клетки

До сих пор я описывал внешний вид костей и расположение каждой в организме. Это дает довольно статичное представление о костях как о костном каркасе, и ничего более. Определенно, твердый минерал составляет 45 процентов массы кости, и эта часть ее мертвая, но при жизни кость — это больше чем просто составляющий ее минерал и все, что угодно, только не инертное вещество. Внутри ее минерального остова, а также внутри хрящевой структуры есть живые клетки.

Клетка — единица живой ткани. Она получила такое название в 1665 году, когда англичанин Роберт Гук, один из первых ученых, использовавших микроскоп, заметил, что в тонком слое пробки можно увидеть губчатую структуру, которая содержит крошечные, продолговатые, расположенные в определенном порядке отверстия. Название клетка в значении «небольшое помещение» показалось идеальным для тех отверстий. Греческий эквивалент этого слова — «kytos», и он очень часто используется в таких сложных словах, как «цитология», что значит «изучение клетки».

Однако отверстия, которые наблюдал Гук, были не чем иным, как мертвыми останками скелета дерева. В живой ткани есть такая же губчатая структура, только клетки не бывают пустыми. Они заполнены желатиноподобным веществом, которое в начале XIX века получило название *протоплазма* (что по-гречески означает «первая форма»).

Клетки довольно сложны по своему строению, но для целей данной книги будет вполне достаточно лишь самого простого описания. Во-первых, клетки маленькие по размеру. Самая большая клетка человеческого организма — яйцеклетка, выделяемая женским организмом, — размером почти с булавочную головку и видима невооруженным глазом. Другие клетки гораздо меньше, и их можно рассмотреть только под микроскопом.

Каждая клетка имеет тонкую и хрупкую клеточную оболочку (или мембрану). Оболочка отграничивает внутреннюю часть клетки от внешнего окружения; и химическая и физическая структура областей по обе стороны оболочки совершенно разные. Существует естественная тенденция конструкции и состава поддерживать равновесие через мембрану, но жизненно важ-

ная функция состоит в том, чтобы поддерживать разницу, несмотря на такую тенденцию к уравновешиванию.

Толщина оболочки всего около 10 миллимикрометров, и состоит она только из нескольких слоев сложных молекул. Тем не менее, она каким-то образом служит для избирательного и одностороннего прохода определенных веществ из окружающей среды внутрь и для других веществ — изнутри в окружающую среду. Механизм, посредством которого это все происходит, до сих пор мало изучен.

Внутри оболочки клетка разделена на две основные части. Небольшая центральная часть называется *ядро* (по-латыни «nucleus», что значит «орешек», потому что оно похоже на небольшой орех внутри скорлупы, большей по размеру) и окружено собственной ядерной мембраной. Ядро контролирует клеточное деление и содержит механизм, который в конечном счете определяет природу клеточного химического механизма. Между ядром и клеточной оболочкой находится цитоплазма, которая выполняет рутинную работу клетки.

Клетка достаточно сложна, чтобы служить не только элементом живой ткани, но и отдельным

организмом. Есть много видов одноклеточных организмов. Тем не менее все растения и животные, которые мы видим невооруженным глазом, состоят из множества клеток. Человеческий организм содержит более 50 триллионов клеток. В многоклеточном организме клетки подразделяются на специализированные группы, каждая из которых выполняет определенную функцию с соответствующей эффективностью, иногда за исключением адекватного выполнения других функций, столь же жизненно необходимых. Это означает, что отдельная клетка многоклеточного организма не может поддерживать свою жизнь независимо от других, а существует только как часть сложной группы, где другие клетки восполняют ее недостатки и где бесперебойно работающая структура объединяет и контролирует все группы, специализирующиеся на какой-то одной функции. (На ум приходит аналогия с современным обществом, которое составляют множество высокоспециализированных человеческих существ, которые быстро умрут с голоду, если их высадить по отдельности на необитаемый остров, но которые прекрасно существуют в рамках одной социальной структуры.)

Определенная ткань состоит из множества

клеток, выполняющих единую функцию. Это клетки, которые специализируются в образовании различных субстанций, тем или иным образом поддерживающих структуру тела как единое целое, и составляют соединительную ткань. Специализированная функция клеток соединительной ткани заключается в образовании вокруг себя тех самых молекул, что составляют кости, хрящи и другие элементы, соединяющие остов тела.

Многие из молекул, образованных таким образом, являются *органическими* по своей природе, то есть состоящими в основном из частиц углерода, водорода, кислорода и азота, которые входят в состав большей части всех живых тканей. Такие молекулы противопоставлены тем, что лишены углерода (ключевого элемента жизни) и похожи по своим свойствам на вещества, из которых состоят неживой воздух, море и скалы вокруг него. Эти последние соединения, естественно, называются *неорганическими.* Несмотря на такое название, организм может использовать и действительно использует неорганические вещества. Вода — вещество неорганическое — и фосфорнокислый кальций представляют собой основную долю костной структуры.

Органические вещества соединительной ткани подразделяются на два класса: *белки* (протеины) и *мукополисахариды.* Белки — это особенно сложные молекулы, построенные из длинных цепочек несколько меньших молекул, называемых аминокислотами. Одна белковая молекула содержит тысячи, иногда даже миллионы атомов, расположенных спиральными витками, напоминающими миниатюрные винтовые лестницы. На важность белков для жизни указывает тот факт, что слово «протеин» происходит от греческого термина, обозначающего предмет первой необходимости. В соединительной ткани белковые молекулы имеют вид пучков спиралей, то есть крошечных волокон, которые переплетаются, образуя крепкую волокнистую структуру, достаточно эластичную, если спирали располагаются надлежащим образом. Клетки, образующие эту волокнистую соединительную ткань, называются *фибробластами* (что по-гречески значит «волокнистая почка»). Два основных белка, существующие в соединительной ткани, — это *коллаген* (что по-гречески значит «производитель клея», потому что из него получается клей при продолжительном процессе варки) и *эластин* (названный так из-за своей эластичности).

Мукополисахариды — тоже большие молекулы, но состоят из ряда единиц — производных простых Сахаров. Часть их названия «поли» произошла от греческого слова, означающего «много», то есть много Сахаров. Раствор мукополисахарида клейкий, вязкий и липкий, и префикс «mucus» означает «слизь». Слизь, секретируемая многими частями тела, обладает такими свойствами, потому что является раствором мукополисахарида.



ФИБРОБЛАСТ

Особенным мукополисахаридом является *гиалуроновая кислотна*, которая встречается почти повсеместно между клетками и помогает им удерживаться вместе. По этой причине ее иногда называют *основной субстанцией*, или *межклеточным цементом.* Еще одной молекулой этого типа, содержащей, помимо обычных, несколько атомов серы, является *хондроитинсульфат.* Хрящи богаты мукополисахаридами, и от греческого слова «хрящ» («chondros») произошло название *хондроитинсульфат.*





Хрящи состоят из относительно больших овальных клеток, называемых *хондроциты* (что по-гречески значит «хрящевые клетки»), которые в основном образуют коллаген и хондроитин-сульфат и откладывают эти вещества вне клетки. Хондроциты, таким образом, отделяются друг от друга хрящом, который они образуют, хотя и имеют тенденцию оставаться в группе. Хотя хрящи между клетками не живые, сами клетки — живые.

Самый часто встречающийся тип хрящей — это *гиалиновый* (по-гречески «стеклянный») *хрящ*, потому что на вид он чистый и полупрозрачный. (Наличие гиалуроновой кислоты в таком хряще и дало название этому мукополисахариду.) Именно из гиалинового хряща вначале и образуется скелет, а некоторая его часть остается до старости, например реберные хрящи, соединяющие ребра

и грудину.

Существуют также эластичные хрящи, цвет которых желтый (как эластичность, так и желтизна обязаны своим существованием наличию эластина). Такие хрящи встречаются, к примеру, в ухе.

Наконец, есть еще волокнистая хрящевая ткань, или волокнистый хрящ, в котором молекулы связываются вместе, образуя скорее плотную волокнистую субстанцию, чем мягкую эластичную. Именно из волокнистого хряща состоят межпозвоночные диски, и именно он соединяет две тазовые кости в месте лонного сочленения.

Структура костей

Несмотря на то что кости скелета выглядят твердыми и сухими, важно помнить, что при жизни около 25 процентов массы кости составляет вода, а еще 30 процентов — органический материал. Органическое вещество — это почти полностью коллаген, хотя немного мукополисахаридов тоже имеется в наличии.

Подобно хрящам, кости содержат живые клетки, функция которых состоит в выработке соединительного материала. Разница в том, что *остеоциты* (от греческого «костные клетки») также образуют минеральные вещества, которые затем откладываются в органической структуре, укрепляя ее, придавая ей прочность.

Минеральной составляющей, главным образом, является фосфат кальция, в котором ионы кальция окружены фосфатными и гидроксильными ионами[7]. Это структура никоим образом не уникальна для живых организмов. Существу-

---

[7] Примечания: 7

В этой книге я намеренно старался как можно меньше касаться химии. Если вам знакомы ионы, хорошо. Если нет, вы можете либо найти информацию по этому предмету в любом элементарном учебнике химии, либо, если пожелаете, пропустите ее и читайте дальше.

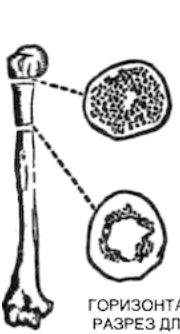
ют обычные неорганические вещества, которые демонстрируют точно такое же строение. Самый близкий пример — это фтороапатит, который отличается только тем, что содержит ион фторида на месте гидроксилыного иона. По этой причине, когда говорят о минеральном составе костей, его иногда называют гидроксиапатитом. Когда кость долго находится в земле, наблюдается медленная тенденция к замене гидроксилыного иона на ион фторида, поэтому по содержанию ионов фторида можно иногда судить о возрасте ископаемых костей.

Кости также содержат изрядное количество карбоната кальция, вместе с небольшими количествами соединений магния, натрия и калия. И вдобавок к тому, что являются жестким остовом тела, кости представляют собой хранилище сложного минерала, компоненты которого постоянно доступны организму.

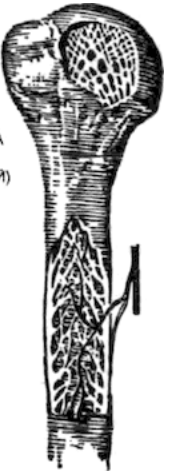
В костях находятся узкие гаверсовы каналы (трубчатые полости, названные в честь английского врача Клоптона Гаверса, который впервые описал их в 1691 году). Именно по этим каналам проходят кровеносные сосуды и нервы. Остеоциты, яйцевидные клетки с множеством неровных отростков, располагаются вокруг кана-

ла концентрическими слоями. Гаверсов канал и окружающие его концентрические слои клеток и минеральных веществ называются остеон, а множество остсонов, слившихся вместе, под микроскопом выглядят словно прилегающие стволы деревьев, которые и образуют костное вещество.

Слои минерального вещества могут быть уложены довольно плотно, тогда они образуют компактное вещество кости, но минеральное вещество может быть уложено и в виде множества отдельных перекладин костного вещества, образуя пористую решетку, называемую губчатым веществом кости. Длинные кости конечностей имеют обе формы костного вещества. Поверхность, расположенная дальше от центра, — это компактный слой кости; внутри находится губчатое вещество. Такие кости легче, чем если бы они состояли исключительно из компактного слоя, хотя их прочность не меньше.



ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ ДЛИННОЙ (ТРУБЧАТОЙ) КОСТИ



СТРУКТУРА ДЛИННОЙ (ТРУБЧАТОЙ) КОСТИ

Полый цилиндр на удивление прочен. Лист обычной писчей бумаги, свободно свернутый и скрепленный надетой на него круглой резинкой, может удержать тяжелый учебник. Помимо того, костные перекладины и пластинки внутри губчатого вещества выполняют функцию силовых опор, расположенных вдоль линий сжатия и натяжения, вызываемых движениями тела.

Пустота человеческих костей не безоговорочна. Они заполнены мягким жировым веществом, называемым костным мозгом. Костный мозг легче самой кости, а заполненная костным мозгом

полая кость легче, чем сплошная, и для нее требуется меньше неорганического материала. Однако в том случае, когда особо необходима легкость, в костях можно действительно обнаружить полости. Слону, к примеру, нужен громадный череп, на котором должны находиться мышцы, необходимые для управления массивным хоботом и поддержания головы, отягощенной как хоботом, так и величественными бивнями. С целью обеспечить поверхность кости, достаточную для расположения мышц, без того, чтобы свести на нет все усилия непомерно большой ее массой, в костях черепа слона предусмотрены пустоты.

Точно так же должны экономить на весе летающие птицы, поэтому их кости полые и хрупкие до такой степени, что выполняют функции поддерживающего остова, очень компактного, не имеющего лишнего пространства. У многих птиц оперение весит больше, чем кости.

Однако и у млекопитающих, и у человека совсем немного пустот в костях. Это тоже имеет свои преимущества, потому что их заполняет костный мозг. Кости периодически перестраиваются вследствие активности остеоцитов двух видов с противоположными функциями: *остеобластов* ростовых клеток в зонах костеоб-

разования и *остеокластов*, обеспечивающих их рассасывание. Остеобласт строит кость (другими словами, закладывает ее основу), накладывая слои гидроксиапатита. Остеокласт — это клетка, которая, постепенно растворяя гидроксиапатит, отправляет его в кровоток.

Таким образом, кость растет в диаметре вследствие активности остеокластов, которые растворяют стенки изнутри и расширяют внутреннее отверстие кости, оставляя усиливающие опоры вдоль линий сжатия и натяжения. Тем временем остеобласты добавляют слои гидроксиапатита к внешней поверхности кости. При заращении перелома кости остеобласты откладывают минеральные вещества, а остеокласты отполировывают грубые края, так сказать, убирают лишнее.

Длинная кость состоит из костной трубки — *диафиза* – и шишковидных концов — *эпифизов.* Шишковидный эпифиз подходит к соответствующему месту в прилегающих костях и покрыт хрящом. У детей эпифиз отделяется от костной части диафиза более толстой полоской хряща. Остеобласты в костной части диафиза постоянно вытесняют хрящ в направлении эпифиза, как обычно откладывая гидроксиапатит, и хрящ,

постоянно вырастая из самой костной трубки, проталкивает эпифиз вперед. В результате кость удлиняется все больше и больше. Примерно в середине подросткового возраста неотступное наслаивание костной ткани догоняет эпифиз и уничтожает хрящ между слоями. Кости больше не удлиняются, и молодой человек достигает своего взрослого роста. Одна из причин более низкого роста у женщин по сравнению с мужчинами заключается в завершении этого процесса у женщин в более юном возрасте.

Сложное наслоение и перенаслоение минеральных веществ и такое упорное соревнование между костью и хрящом не может быть предоставлено самим костям. Должна быть какая-то центральная сила, управляющая всеми костями таким образом, чтобы рост каждой кости происходил в надлежащей пропорции к остальным, а также к мягким тканям тела. Такой центральный контроль осуществляется частично действием ростового гормона, высвобождающегося в крошечных количествах в кровоток небольшим органом, расположенным сразу под головным мозгом и называемым гипофиз. Ростовой гормон и обеспечивает победу хряща в этой гонке.

Когда происходит сбой выделения ростового

гормона, последствия оказываются катастрофическими — быстрое исчезновение хряща и, следовательно, быстрое окостенение, которое может положить конец росту в раннем детстве. Результатом будет цирковой лилипут. В случае, когда в большей степени затронуты длинные кости, голова и туловище бывают почти нормального размера, а руки и ноги остаются похожими на обрубки, и результатом будет карлик. Избыток же ростового гормона может повлечь за собой чрезмерное образование хряща, так что молодой человек может вытянуться с необычной скоростью и продолжать расти во взрослом возрасте. В результате получается великан. Известно, что некоторые мужчины-гиганты достигали роста почти 9 футов, а некоторые карлики ростом меньше 2 футов во взрослом возрасте.

Иногда нарушение продукции ростового гормона возникает после того, как процесс окостенения уже завершился. В этом случае дальнейший рост происходит только в тех местах, где остается возможность роста, — на концах конечностей и подбородке. Кисти рук, стопы и челюсть гротескно увеличиваются, и такое состояние известно под названием акромегалия (что по-гречески означает «большие конечности»).

Образование костей также связано с витамином D, официальное название которого кальциферол («несущий кальций») указывает на его функцию. У детей, которые по тем или иным причинам испытывают нехватку витамина D, окостенение костей происходит недолжным образом. Они остаются «мягкими» и, следовательно, деформируются при нагрузке, отчего ноги приобретают форму колеса, искривляется позвоночник. Череп может быть мягким и деформированным. Размягчение, или атрофия, костей черепа называется краниотабес. Болезнь называется *остеомаляция*, или *рахит* (по-гречески «позвоночник», который в конечном итоге является именно той частью тела, которую рахит поражает чаще всего). Эффект рахита виден из значения прилагательного «рахитичный» — то есть «слабый», «хрупкий». В последнее время, в связи с добавлением витамина D в молоко и хлеб, а также с использованием витаминных пилюль, рахит больше не представляет собой угрозы, по крайней мере в развитых странах мира.

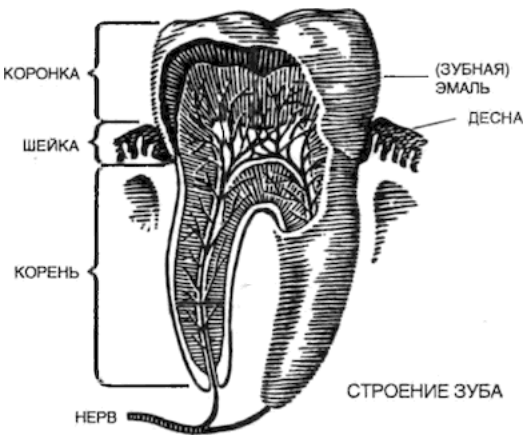
Потребность в витамине D у взрослых, когда рост костей прекратился, очень низкая, хотя и не может полностью равняться нулю. Минеральные вещества, которые отлагаются в кости, не остают-

ся там навсегда. Они могут быть использованы организмом в случае необходимости, поэтому должен существовать механизм для того, чтобы их восполнять. Недостаток витамина D может быть одной из причин размягчения костей у взрослых, когда минеральные вещества удаляются из костей и больше не замещаются. Такое состояние чаще обнаруживается у женщин, чем у мужчин, особенно на Востоке. Остеомаляция случается во время беременности или кормления грудью, когда запас кальция в организме матери снижается из-за развивающегося младенца.

Инфекция костного мозга иногда вызывает серьезное заболевание, которое требует хирургического вмешательства, — *остеомиелит* (что по-гречески означает «воспаление костного мозга»).

Строение зубов

Подобно костям, зубы образуются вокруг центральных каналов, содержащих нервы и кровеносные сосуды, поэтому они тоже неотъемлемые живые частички организма. В каждом зубе есть канал, а также пульпа, которая содержит нерв. Это чувствительная часть зуба, что наглядно иллюстрирует расхожая фраза «задеть нерв».



Вокруг пульпы находится дентин (твердая ткань), который составляет основную массу зуба

и содержит больше минеральных веществ, чем кость. Дентин почти на 70 процентов неорганическая соль, в то время как кость — только на 45 процентов. Дентин, следовательно, тверже, чем кость. Обмен веществами, составляющими дентин, с кровотоком составляет всего одну десятую подобного обмена у кости. Слоновая кость, используемая для изготовления бильярдных шаров и белых клавиш рояля, — пример фактически чистого дентина, полученного из бивней слона.

Дентин той части зуба, которая находится ниже линии десен (корень), окружен тонким слоем цементного вещества, которое, судя по названию, служит для закрепления зуба в челюсти. По составу цементное вещество зуба подобно кости.

Дентин же той части зуба, которая находится над линией десен, покрыт эмалью. В то время как зубной цемент менее минерализован, эмаль содержит гораздо больше минеральных веществ. Действительно, эмаль на 98 процентов неорганическое вещество и почти полностью инертное. Это самая твердая субстанция в организме человека.

Минеральные вещества зубов отличаются от минеральных веществ костей тем, что первые содержат ионы фторида на месте некоторых

гидроксильных ионов — при условии, что такие ионы фторида доступны организму. При ближайшем рассмотрении эффекта, вызываемого фтороапатитными структурами, можно сделать вывод, что зуб, очевидно, должен быть менее подвержен гниению, вызываемому бактериями. Но как ни странно, будучи самой твердой и крепкой структурой организма, эмаль единственная подвергается гниению при жизни человека. И все-таки, будучи самой богатой минеральными веществами и, следовательно, наименее живой из всех тканей, эмаль наиболее беззащитна перед нападением бактерий. Гниение зубов называется *кариес* (по-латыни «гниение»).

Содержание фторидов в зубах представляет изрядную проблему. Пища и вода всегда содержат некоторое количество ионов фторида, но не всегда достаточно. Если это количество слишком мало, скажем менее одной миллионной, в структуру зуба попадает немного ионов фторида, и гниение преобладает, если не предпринимать героических усилий в уходе за ротовой полостью. Если же количество ионов фторида слишком велико, скажем более двух миллионных, то на эмали постоянно видны желтые пятна, что не вредно, но не слишком красиво.

Если содержание ионов фторида около одной миллионной, вероятность зубного кариеса снижается на одну треть по сравнению с обычной частотой его возникновения (когда никаких других изменений в гигиене ротовой полости не происходит) без какого-либо заметного ущерба. Этот последний вывод основывается на данных усердных медицинских исследований дантистов.

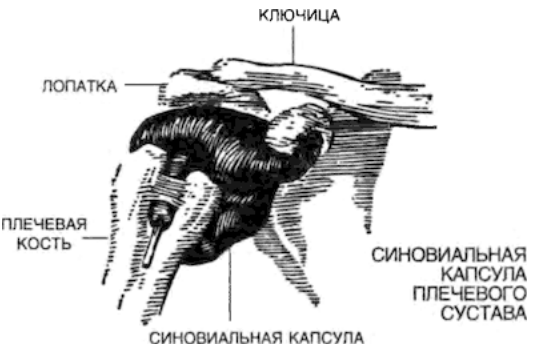
К несчастью, снижение кариеса может сказаться только на детях, находящихся в том возрасте, когда у них формируются зубы, для чего необходимо усвоение ионов фторида. Взрослые с полностью сформировавшимися зубами больше не усваивают фторид, но, по крайней мере, новому поколению это принесет пользу.

Движение костей

Скелет — это не просто остов тела, это подвижный остов. Поскольку кости сами по себе не гнутся, единственная возможность движения обеспечивается в тех местах, где соединяются две кости. Эти места соединения называются *суставами.* Их еще можно назвать более красиво «сочленениями». Существование сустава не обязательно подразумевает подвижность. Некоторые кости, такие, как кости черепа и тазовая кость, срастаются, как я объяснял ранее, в единую монолитную структуру без какой бы то ни было возможности движения в местах соединения.

Другие суставы допускают лишь скользящее движение и не слишком большое. Примеры тому — соединения позвонков и соединения между ребрами и грудными позвонками. Они позволяют выполнять ограниченное движение, необходимое для того, чтобы сгибать спину или приподнимать грудную клетку при дыхании. Маленькие косточки запястья и лодыжки тоже могут скользить одна о другую. Движение в суставах, которое наиболее нам знакомо, связано с резкими и экстремальными изменениями поло-

жения соседних костей друг относительно друга. Это наиболее заметно в конечностях, когда вы сгибаете руку в локте или ногу в колене. Движение здесь действительно происходит под углом 180 градусов.



При движении одной кости относительно другой важное значение придается снижению трения (что равнозначно важно и для созданных человеком механизмов). По этой причине те части костей, которые соприкасаются, окружены гладким слоем хрящевой ткани. Кости удерживаются вместе с помощью капсулы (*синовиальной*) соединительной ткани, которая окружает сустав и секретирует липкую жидкость, содержащую гиалуроновую кислоту. Суставы легко скользят

по этому смазывающему слою синовиальной жидкости (похожей по консистенции на яичный белок). Суставы, в которых возможно более или менее свободное движение, по этой причине называются синовиальными суставами.

Тип движения, возможный в определенном синовиальном суставе, зависит от его строения. Как следствие, движение иногда возможно только в одной плоскости, назад и вперед, подобно двери на ее петлях, поэтому такой сустав называется *блоко-видным (шарнирным)* суставом. Примером такого сустава может служить локтевой сустав, где проксимальный эпифиз локтевой кости как раз входит между двумя эпифизами на дистальном конце плечевой кости. Движение возможно только вперед-назад, но никак не из стороны в сторону.

Коленный сустав — это еще один шарнирный сустав. Такие же суставы между первой и второй фалангами, а также между второй и третьей фалангами пальцев руки. Это также относится и к аналогичным суставам пальцев ног, таким образом, в конечностях всего 40 шарнирных суставов.

Некоторые суставы позволяют движение вокруг каждой из двух осей. Например, вы можете

не только согнуть пальцы ног, но также и раздвинуть их. То же самое относится и к пальцам рук.

Нижняя челюсть Может двигаться вверх и вниз и по большей части является шарнирным суставом, но она также может немного двигаться из стороны в сторону, и обычное жевательное действие связано скорее с вращательным движением, чем с простым соприкосновением зубов. Понаблюдайте за коровой, жующей свою жвачку, если хотите увидеть такое вращательное движение в замедленном и полном достоинства виде. Наша голова способна еще более свободно двигаться в месте ее соединения с позвоночным столбом, поскольку она может наклоняться вперед, назад, влево, вправо или вращаться вокруг вертикальной оси.

Плечевая кость может поворачиваться под углом 180 градусов, так что ладонь кисти руки может быть обращена либо вверх, либо вниз без движения в локтевом или плечевом суставе. Это возможно из-за того, что проксимальный эпифиз лучевой кости входит в углубление на локтевой кости. В пределах этого углубления лучевая кость может поворачиваться. Если вы держите руку перед собой ладонью вверх, лучевая и плечевая кости параллельны, поверните руку ладонью

вниз, и лучевая кость, поворачиваясь, пересекает локтевую. В этом отношении нога гораздо менее гибкая, чем рука.

Когда эпифиз одной кости входит в чашеобразную впадину другой, вы имеете шаровидный сустав, или артродию. Самый очевидный случай — это бедро, входящее в вертлужную впадину тазовой кости. При этом обеспечивается самое свободное, насколько возможно, движение, поэтому ноге можно придать почти любое положение, особенно при тренировке, вот почему в балетных танцах такие грациозные движения.

Подобный шаровидный сустав между плечевой костью и лопаткой обеспечивает еще более свободное движение, поскольку впадина в этом случае мельче, чем впадина в бедре. Вы можете повернуть руку, описав полный круг относительно плеча, и этот сустав, вне всяких сомнений, самый маневренный из всех суставов человеческого тела. (Понаблюдайте за подающим в бейсболе, который делает сложную подачу крученым мячом.) Это очень неплохо, принимая во внимание, что обладание рукой, способной к манипуляции с почти неограниченной гибкостью, — один из факторов, которые способствовали превращению обезьяны в человека.

Резкие движения в суставе могут вызвать выпадение одной из костей из сопряжения с другой (вывих), в результате чего движение костей в этом месте становится невозможным, а все попытки его совершить становятся чрезвычайно болезненными. Шаровидный сустав подвержен вывихам гораздо сильнее, чем любой другой, а мелкий плечевой сустав подвержен вывихам больше остальных, за ним следует сустав бедра. Локоть тоже иногда подвержен вывиху, как и различные фаланги пальцев. Одним из несчастий, которое порой даже вызывает смех (у всех, кроме жертвы), является вывих нижней челюсти в результате слишком энергичной зевоты.

Для того чтобы по мере возможности предотвратить вывихи, недостаточно только синовиальных мембран или давления окружающих мышц, поддерживающих суставы в сцепленном состоянии. Соседние кости в синовиальных суставах соединяются полосами упругой ткани, называемыми *связками.* Связки помогают ограничить движение суставов до разумных пределов. Однако эти пределы при экстремальных условиях могут быть превышены настолько, что связки разорвутся с вывихом самого сустава или без такового. Подобные растяжения связок наи-

более часто случаются в запястье или лодыжке. Появляющиеся в результате боль и отек знакомы нам всем, поскольку счастливчиков, которым удалось избежать растяжения связок, не так уж и много.

Связки могут быть либо белыми, либо желтыми. Белые связки в основном состоят из коллагена и лишены эластичности. Желтые связки содержат эластин, поэтому, естественно, эластичны. Первые встречаются довольно часто, а последние редко и у человека находятся лишь в шее.

Сильные белые связки связывают кости стопы так, что те изгибаются, образуя арку. Эти пружинистые связки амортизируют толчки при движении, а утрата эластичности этих связок вызывает плоскостопие.

Несмотря на все предосторожности, движущиеся части особенно склонны к неполадкам и в человеческом организме столь же уязвимы, сколь уязвимы различные сочленения машин и механизмов. В колене (пожалуй, наиболее уязвимом суставе тела, несмотря на дополнительную защиту коленной чашечки) после травмы может скапливаться синовиальная жидкость; такое состояние в народе известно как водянка колена или синовиальной сумки. Мембрана соеди-

нительной ткани, окружающей сустав, может воспалиться и стать болезненной. Это случается, когда на колено оказывается постоянное давление, как это в старые времена происходило у поломоек, которые вечно драили полы, стоя на коленях, поэтому такое заболевание стали называть «колено поломойки», или, по-научному, препателлярный бурсит. Синовиальная сумка по-латыни называется «bursa» (потому что сустав находится в ней, словно содержимое сумки). Воспаление синовиальной сумки, следовательно, может носить название бурсит. Он часто поражает и плечевой сустав.

Любое воспаление суставов, по какой бы причине оно ни возникло, — это разновидность артрита (по-гречески «воспаление сустава»). Самый опасный и самый распространенный — ревматоидный артрит, причина которого неизвестна, по который может поразить любого человека независимо от возраста, хотя наиболее часто случается в возрасте между тридцатью и сорока пятью годами. Он называется ревматоидным, потому что его симптомы ассоциируются с тем, что называется ревматизмом, то есть болью в суставах. Кроме боли, которую вызывает, болезнь в крайних проявлениях может деформировать

сустав или даже обездвижить его навсегда из-за образования волокон и отложения солей. Таким образом, в конечном счете больной ревматоидным артритом оказывается прикованным к постели.

Глава 4
Мышцы

Живое движение

Хотя считается, что скелет предусматривает возможность движения, — в конце концов, он имеет суставы, — он не может двигаться сам по себе. Скелет, из которого делают страшилку для детей в сказках и мультфильмах, гремя костями, бросается в погоню за жертвой, угрожающе протягивая к ней костлявые руки. Однако не требуется особой искушенности, чтобы понять: кости, даже живые, с нетронутыми и живыми клетками, могут двигаться сами по себе с таким же успехом, как и пластиковый макет этих самых костей. Движение мы должны искать где-то в другом месте, и если и есть характерная черта, которая у нас ассоциируется с жизнью, так это осознанное движение.

В основном мы связываем такое движение с животной жизнью, поскольку небрежный взгляд приводит нас к предположению, что растения не передвигаются, за исключением тех случаев, когда они склоняются под ветром или их несет водяным потоком. Это конечно же не совсем верно. Стебли растений медленно поворачиваются в направлении света и против силы притяжения, в

то время как их корни медленно движутся к воде и в направлении силы притяжения. Очевидно, такое медленное движение объясняется тем, что рост растения обусловлен клеточным делением. То есть клетки на одной стороне стебля или корня делятся быстро, а на другой — медленно, поэтому та или иная структура отклоняется в направлении нерастущей стороны. Если свет или влага замедляют рост на той стороне структуры, куда попадают, эта часть растения будет поворачиваться к свету или воде.

Для более быстрых движений в ответ на прикосновение или свет растения используют водяной тургор, что означает, что определенные полости у основания лепестков могут наполняться жидкостью под давлением. Когда эти основания становятся жесткими, лепестки раскрываются. Когда полости пусты, лепестки становятся вялыми и закрываются. Это примитивное приспособление, но и животные не лишены его. Тело человека имеет части, обычно вялые, которые могут набухать и становиться твердыми, когда губкообразные полости наполняются кровью под давлением. Самым известным примером конечно же является мужской пенис.

Тем не менее ни о чем таком мы не думаем,

размышляя о жизни в движении. На ум приходят антилопы, лошади, гепарды, страусы (и, некоторым образом, мы сами), бегущие по земле, мы вспоминаем летящих птиц, летучих мышей и насекомых, ползущих змей, плывущих рыб и дельфинов, роющих нору кротов и так далее. (Однако существуют животные, такие, как моллюски и кораллы, которые большую часть своей жизни не более подвижны, чем растения.)

Если мы собираемся открыть механизм движения, то должны обратиться к клетке, которая является биологической единицей жизни. Мы обнаружим, что все клетки — людей, орлов, моллюсков и платановых деревьев — проявляют способность к внутреннему движению. Протоплазма внутри клетки постоянно циркулирует, подчиняясь определенной закономерности. Этот процесс называется *течение* (движение) протоплазмы, а иногда *циклоз* (от греческого слова «циркуляция»).

Ценность циклоза для любой клетки заключается в том, что в ходе этого процесса ее содержимое хорошо распределяется при условии, что различные части проводят довольно значительное время рядом с оболочкой, где из внешнего мира можно получить вещества или, наоборот,

выбросить их в окружающее пространство. К тому же вещества могут транспортироваться посредством циклоза между оболочкой и жизненно важными структурами клетки, более или менее постоянно располагающимися внутри ее.

Такое течение протоплазмы может преобразовываться так, что в результате происходит передвижение всей клетки. Протоплазма клетки может существовать в одном из двух состояний: в виде жестковатого полутвердого вещества, называемого гель (белок, который надлежащим образом перемешан с водой, представляет наиболее известный пример такого состояния), или в виде свободно передвигающейся жидкости, называемой *золь.* Равновесие между двумя этими состояниями очень хрупкое, небольшого перевеса достаточно для того, чтобы часть протоплазмы перешла из гелеобразного состояния в золь или наоборот.

Представьте, что протоплазма вдоль центральной оси клетки представляет собой золевую форму, а оставшаяся часть находится в гелеобразном состоянии. Если с гелем в заднем конце каким-то образом происходит контакт, он выдавит золь вперед подобно тому, как зубная паста выдавливается из тюбика. Передняя часть клетки

будет выпячиваться наружу.

По мере того как золь течет, он превращается в гель вдоль стенок, в то время как некоторое количество геля в задней части превращается в золь и, в свою очередь, проталкивается вперед. Таким образом, внутреннее движение преобразуется в движение вперед, и вся клетка целиком медленно передвигается.

Эта форма движения была тщательнейшим образом изучена у одноклеточных животных, называемых амеба (что по-гречески означает «изменение»), и поэтому была названа амебное передвижение. Само название этого существа произошло от способа его передвижения — по мере того, как клетка выпячивается в том или ином направлении, образуя псевдоподы (по-гречески «ложные ноги»), таким образом, его форма постоянно меняется.

У других одноклеточных существ с прошествием веков образовались специальные приспособления, которые создают возможность более быстрого движения. Это микроскопические, похожие на волоски структуры, которые, как весла, загребают воду и двигают клетку. Таких приспособлений может быть немного, и они сравнительно длинные, в этом случае их на-

зывают flagella — жгутик (от латинского слова «хлыст»), единственное число — flagellum. К тому же таких приспособлений может быть много, и они относительно короткие, в этом случае они называются cilia (что по-латыни значит «ресничка»), единственное число — cilium.

Хотя эти формы движения могут поразить нас, поскольку в основном приспособлены для примитивных клеток, гордые многоклеточные существа, которые развивались веками, не отказались от них. Возьмем, к примеру, человека. В нашей крови имеются клетки, производящие амебное движение, медленно ползая внутри нас посредством старинного чередования геля и золя. Клетка человеческой спермы прокладывает путь к яйцеклетке с помощью быстрых движений единственного жгутика. (Оттого, что его называют хвостом, он не перестает быть жгутиком.) Реснитчатые клетки есть в дыхательной системе (подвижные реснички здесь служат для того, чтобы выметать инородные частицы из легких) и в женской репродуктивной системе, где предназначены для того, чтобы вытолкнуть яйцеклетку из яичника в матку.

Может показаться, что перетекание вперед золя при амебном движении — результат сокра-

щения геля сзади. Именно сокращение может быть причиной движения ресничек и жгутиков. Как реснички, так и жгутики состоят из 11 тонких волосков, 9 из которых образуют кружок вокруг центральной пары. Одна теория относительно причины их движения состоит в том, что волоски сжимаются сначала с одной стороны от центра, а потом — с другой, изгибая всю структуру то назад, то вперед.

То, что сокращения обусловлены амебным движением и движениями ресничек, пока лишь предположение, но кажется вполне приемлемым, что способность к сокращению части целого основополагающее свойство животной клетки. Давайте вспомним, что почти в начале эволюции многоклеточной жизни образовались определенные клетки, которые, если можно так выразиться, посвящали свою жизнь исключительно сокращениям. Эти сокращения заметны и очевидны, и логично предположить, что подобная специализация не могла возникнуть из ничего, а представляет собой продолжение и развитие свойства, которое уже существовало, хотя и в несколько ослабленной форме, у клеток вообще.

Сокращение мышц

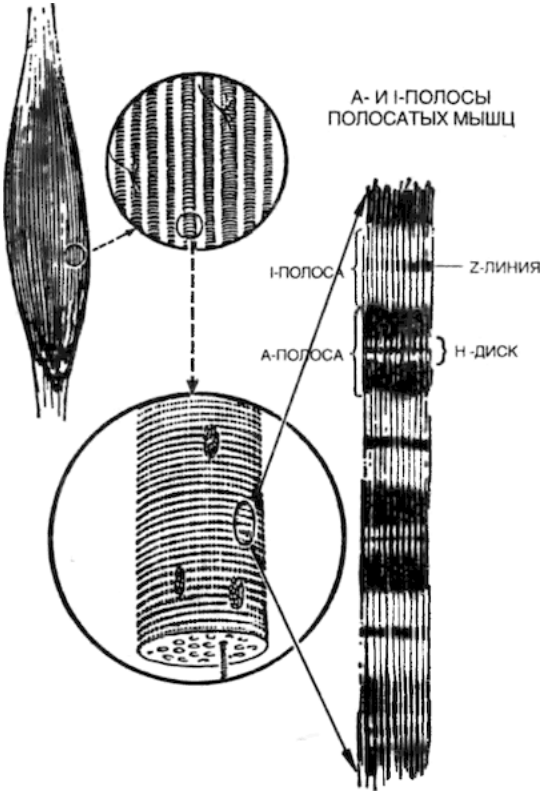
Клетки, специализирующиеся на сокращении мышц, составляют те части тела, которые мы называем мышцами или мускулами, а отдельные клетки, соответственно, являются мышечными клетками. Слово «мышца», в соответствии с одной из теорий, происходит от латинского слова «мышка», потому что человек может заставить свои мышцы бугриться таким образом, что кажется, будто маленькая мышка бежит под кожей. Это несколько странное предположение, и по другой теории, которая мне нравится больше, это слово произошло от греческого выражения, смысл которого «окружать», поскольку слой мышц покрывает тело.

В человеческом организме есть несколько типов мышечной ткани, которые различаются по ряду признаков. Например, под микроскопом видно, что определенные мышцы состоят из волокон, по виду полосатых или бороздчатых, с чередованием более светлых и более темных полос. Это — *полосатые мышцы.* Другой тип мышц, у которых нет таких полос, — это *гладкие мышцы.* (Существует еще один тип мышц, совер-

шенно непохожих ни на те, ни на другие, — это те, что составляют структуру сердца, но о них мы поговорим в другой главе.)

Именно полосатые мышцы были наиболее тщательно изучены. Под поляризованным освещением более темные полосы преломляют свет по-разному, в зависимости от направления светового луча. Если свойства каких-то структур изменяются в зависимости от направления светового луча, говорят, что они *антизотропические* (что по-гречески значит «поворачивающиеся неравномерно»), поэтому более темные полоски называются анизотропическими полосами или просто А-полосами. Более светлые полосы не изменяют свойств в зависимости от направления светового луча и являются *изотропическими* (что по-гречески значит «поворачивающиеся равномерно»), поэтому представляют собой I-полосы. А-полоса разделяется на две части топкой линией, называемой Н-диском (это сокращение происходит от фамилии Виктора Хенсена, немецкого анатома XIX века). Ниже середины каждой полосы проходит темная линия, которая называется Z-линия. Воспользовавшись электронным микроскопом, можно увидеть, что А-полоса состоит из группы широких волокон, а I-полоса

— из группы тонких волокон, заякоренных к Z-линии. Когда мышечные волокна находятся в расслабленном состоянии, они перекрываются не полностью, и волокна прилегающей полосы не встречаются. Именно пробел между полосой волокон и представляет собой Н-диск.



Теперь перед нами картина движения. Нервный импульс достигает волокна, вызывая серию химических изменений, которые наряду с дру-

гими факторами высвобождают энергию. Изменения, видимые под электронным микроскопом, проясняют то, что происходит в результате. Волокна I-полосы медленно продвигаются друг к другу, таща за собой Z-линию, словно якорь. I-полосы встречаются друг с другом между волокнами A-полосы, уничтожая H-диск.

Волокна A-полосы остаются по большей мере без изменений, так что, проще говоря, мускульные волокна в расслабленном состоянии — это вся длина темных полос плюс светлые полосы. Однако при сокращении — это только длина темных полос.

Что заставляет двигаться волокна I-полосы, пока точно не совсем установлено, но наиболее приемлема догадка, что на волокнах A-полосы имеются крошечные выступы, которые в определенных местах могут соединяться с волокнами I-полосы. Это соединение происходит под воздействием притока энергии, возникающей от химических изменений, вызванных нервным импульсом, мостик движется вперед (предположительно вследствие изменений в межмолекулярном притяжении), стягивая волокна I-полосы вместе. Затем он движется назад к новому соединению, и снова вперед. Процесс

повторяется снова и снова, точно некий храповой механизм.

Полосатые мышцы

Полосатые мышцы устроены так, что способны быстро и сильно сокращаться. В этом отношении храповые механизмы умножаются и нагромождаются до тех пор, пока они не становятся видимыми вооруженному микроскопом глазу как полосы светлого и темного цвета. Такие мышцы, предназначенные для быстрого сокращения, необходимы для управления костями скелета, и большинство их прикреплены к этим костям именно с такой целью. Это именно те мышцы, которые участвуют в процессе ходьбы, прыжков, хватания, в повороте туловища, кивании, в процессе дыхания и так далее. Поскольку полосатые мышцы так тесно связаны со скелетом, их иногда называют скелетными мышцами.

Если такие мышцы предназначены нести полезную нагрузку, они обязаны быстро реагировать на изменения окружающей среды. Животное должно быть готово к тому, чтобы быстро передвигаться при виде пищи или врага, маневрировать без задержки, чтобы совершить все необходимое. Короче говоря, такие мышцы должны приводиться в действие простым

усилием воли. Верно то, что мы можем вызвать сокращение мышц, чтобы причинить вред самим себе, если именно этого и добиваемся. Каждое преднамеренное самоубийство вызвано таким сокращением мышц, которое приводит жизнь к концу, и, хотя самоубийца может передумать в любой момент до наступления смерти, его мышцы не откажутся повиноваться ему, если, конечно, он не изменит своего намерения. По этой причине полосатые мышцы также называются «произвольно сокращающимися» мышцами.

В гладких мышцах волокна сокращаются плохо (достаточно плохо, чтобы быть не полосатыми, но по такому же принципу, что и полосатые). Вследствие медленного сокращения гладких мышц сфера их действия ограничивается органами, где в быстром движении нет жизненной необходимости. Как оказалось, именно из них состоят стенки внутренних органов, таких, как кровеносные сосуды и пищеварительный тракт. Поскольку внутренние органы называются висцеральными, гладкие мышцы иногда называются мышцами внутренних органов, или *висцеральными* мышцами.

Висцеральные мышцы относительно медленно реагируют на изменения внутри организма

и делают это без вмешательства воли. Стенки кровеносных сосудов сжимаются или расширяются под действием определенных химических веществ, появляющихся в крови, или под температурным воздействием, но мы не можем сами намеренно заставить их это делать безо всякого усилия, как мы поднимаем руку или облизываем губы. По этой причине гладкие мышцы также называются *непроизвольно сокращающимися* мышцами.

Различия на клеточном уровне также имеются. Отдельные клетки гладких мышц напоминают по форме сигару (обычно их называют *веретенообразные*, но осталось очень мало людей, которые когда-либо имели дело с веретеном или хотя бы точно знают, как оно выглядит) и имеют всего одно ядро. Полосатые мышцы состоят из цилиндрических структур, которые отличаются от обычных клеток тем, что имеют несколько ядер, расположенных то там, то тут, как будто несколько отдельных клеток слились воедино с целью, чтобы общая сила сокращения могла быть больше и лучше скоординирована.

Мышечные волокна сокращаются по принципу «или все, или ничего». Раздражитель (электрический ток, давление при прикосновении, тепло

или определенные химические вещества), воздействующий непосредственно на мышцу или на нерв, ведущий к ней, может быть столь слабым, что мышца никак не реагирует. Если раздражитель усиливается, то наступает такой момент, когда возникает ответ волокна, и отвечает это волокно единственным ему известным способом — полным сокращением, на которое оно в данный момент способно. Не существует средних раздражителей, которые вызывали бы среднее сокращение. Либо все, либо ничего.

Кажется, что это утверждение расходится с действительностью, поскольку мышцу нашего плеча, как самую известную всем нам (именно ее напрягают, чтобы «разработать мускулы»), можно заставить сжиматься до любой степени — от малейшего подергивания, которое просто передвигает плечо на ничтожное расстояние, до быстрого и максимального сгибания в локте.

Это не парадокс, но это явление возникает потому, что в действительности мышца состоит из множества волокон, которые до определенной степени обладают способностью к независимому действию. Если всего несколько волокон мышцы подвергаются раздражению, именно эти несколько волокон и будут сокращаться, но

чистый эффект этих «всех» на фоне очень многих «ничего» будет выражаться лишь в легком общем сгибании. По мере того как все больше и больше волокон отвечает на раздражитель, общее сокращение постепенно становится больше.



Ответ волокна полосатой мышцы на раздражение быстр и краток, он длится только долю секунды, в некоторых случаях всего $^{1}/_{40}$ секунды. За этим следует быстрое расслабление. Еди-

ничный краткий раздражитель подобного рода называется судорога или конвульсия и обычно не возникает в организме. Как правило, происходит медленное сокращение всей мышцы, или если и происходит ее непрерывное сокращение на протяжении какого-то приемлемого периода времени, то оно поддерживается различными волокнами, включающимися в конвульсии по очереди. Ни одно волокно не может сокращаться долго, но мышца как единое целое способна сокращаться довольно продолжительное время. Однако можно вызвать и единичную судорогу в мышце тела. Наилучший пример — резкий удар под колено, который вызывает знакомый ответ в виде «коленного рефлекса».

Имеется возможность возбудить отдельное волокно так, что оно будет отвечать рядом судорожных подергиваний. Если раздражители часто следуют друг за другом, каждая последующая судорога будет наслаиваться на предыдущую. То есть после одной судороги у мышцы не будет времени на то, чтобы полностью расслабиться до того, как возникнет новая. Вторая судорога, начинающаяся в состоянии большего напряжения, достигнет большей силы, а третья судорога, спешащая следом за второй, будет еще сильнее.

К тому времени, как скорость раздражения достигнет 50 импульсов в секунду, волокно будет находиться в состоянии непрерывного стойкого сокращения. Эта разновидность судорожных состояний называется *тетания* (от греческого слова «растянутый» — несмотря на то, что мышца скорее сокращается, чем растягивается).

Тетания не возникает в мышцах хорошо функционирующего организма, но организм не всегда хорошо функционирует. Даже те способности, которые подчиняются нашей воле, могут выйти из-под контроля. Наше тело — это химический механизм, и он остается послушным нам только тогда, когда его химия в порядке. Например, правильная передача нервного импульса к мышце зависит от надлежащей концентрации ионов определенных металлов в крови. Одни из них — ионы кальция. Если по какой-то причине концентрация ионов кальция в крови падает ниже определенного минимального уровня, нерв начинает передавать быстрые импульсы, и мышцы отвечают тем, что входят в состояние тетании. Если такое состояние не облегчится, последует смерть.

Концентрация ионов кальция в крови хорошо контролируется организмом и не склонна к сни-

жению. Гораздо чаще опасность угрожает извне. Существуют бактерии, называемые Clostridium tetani (по-гречески «веретенообразные»), которые широко распространены и могут попасть в организм через любую рану. Они выделяют токсин (все ядовитое можно назвать «токсин» (от греческого слова «стрела») из-за старинного обычая отравлять копчики стрел), который, в свою очередь, вызывает тетанию мышц обычно со смертельным исходом. Болезнь называется столбняк или, наглядно и довольно отталкивающе, тризм (спазм жевательных мышц), потому что самыми первыми поражаются мышцы челюстей, которые сокращаются и как бы «захлопывают рот на замок».

Столбняк когда-то представлял собой одну из наиболее смертоносных опасностей, сопровождающих раны, на которые в противном случае никто не обратил бы внимания. К счастью, оказалось возможным обработать столбнячный токсин химическим способом так, что он слегка видоизменился и стал вырабатывать анатоксин, или токсоид (обезвреженный бактериальный токсин). Этот токсоид не будет вызывать столбняк, а подтолкнет организм к выработке веществ (антител), которые нейтрализуют не только мо-

лекулы токсоида, но и любые молекулы самого токсина, которые попадают в организм. Таким образом, несколько инъекций столбнячного анатоксина, сделанных с определенным промежутком времени, вызовут иммунитет к болезни. Во время Второй мировой войны американским солдатам постоянно делали уколы для того, чтобы у них появился иммунитет к столбняку и другим болезням тоже, и хотя эта процедура была предметом многочисленных препирательств со стороны жертв иглы, по в конечном итоге столбняк исчез. Это стоило укола!

Симптомы похожие на симптомы столбняка и с таким же фатальным исходом вызывает препарат под названием стрихнин (название растения, из которого его получают, по-гречески называется «смертоносный паслен»). Неизвестно, каким именно образом столбнячный токсин или стрихнин вызывают такой эффект.

Мышцы также становятся негибкими и затвердевают, спустя 12–36 часов после смерти, это состояние называется rigor mortis, или трупное окоченение, ставшее известным благодаря детективам с убийствами (которые также внесли свою лепту в ознакомление широкой публики со стрихнином). Трупное окоченение возникает не

из-за тетании, а из-за преципитации (осаждения) обычно растворимых белков в тканях мышц. Эффект очень сходен с процессом, который мы наблюдаем при варке яиц. Как только начинается разложение, трупное окоченение исчезает.

Цена, которую платят скелетные мышцы за свой дар скорости и силы, — усталость. Химические изменения, вызываемые нервной стимуляцией мышц, неизбежно истощают относительно небольшой запас в мышечных клетках веществ, высвобождающих энергию. Каким-то образом эти вещества должны быстро восполняться по мере потребления, и это обычно делается посредством других химических реакций, связанных с молекулами кислорода, приносимыми к мышечным клеткам кровотоком, который, в свою очередь, собирает эти молекулы в легких.

Висцеральные мышцы, работая медленно и в ответ на регулярные изменения во внутреннем окружении, поддерживают темп, соответствующий своим запасам кислорода. Они все время поддерживают вещества, выделяющие энергию, на необходимом уровне и не подвержены усталости.

Однако скелетные мышцы подвергаются интенсивной активности, превышающей нор-

мальную, довольно продолжительное время. Тогда может показаться, что необходимо проследить, чтобы подача крови была больше все время, «просто на всякий случай», и все-таки было бы неэффективно предназначать мышцы для непрерывной работы на уровне выкапывания траншеи, когда большая часть жизненной активности значительно менее интенсивна. И все-таки иногда возникает необходимость выкопать канаву, нарубить дров или бежать изо всех сил, чтобы спастись от опасности. И если уж на то пошло, иногда хочется сыграть несколько сетов в теннис. В таких случаях организм может адаптироваться к большим потребностям в кислороде. Тяжелая работа или интенсивная игра вызывают увеличение как скорости, так и глубины дыхания (мы задыхаемся), а также усиление сердцебиения (сердце колотится) и способность кровеносных сосудов подпитывать мышцы (мы краснеем). И все-таки жизнь может зависеть от того, найдется ли путь, хотя бы временный, позволяющий обойти все то, что делают для организма легкие, сердце и кровь.

Мышцы добиваются этого, получая запас энергии (конечно, ограниченный запас) за счет химических изменений, не связанных с кисло-

родом. В процессе этих химических реакций выделяется сложное вещество, известное как *молочная кислота.* Эта увертка, дающая мышце дополнительный рывок, возможно сохраняющий жизнь, тоже имеет свою цену. По мере того как молочная кислота накапливается, мышце становится все труднее сокращаться, и мы испытываем ощущение усталости. Волей-неволей замедляем движения и в конечном счете, даже если на карту поставлена жизнь, вынуждены остановиться в крайнем изнеможении.

Когда утомительная работа прекращается, мы не можем полностью прийти в себя до тех пор, пока молочная кислота не будет удалена из мышцы. Это требует кислорода — всего кислорода, который был бы использован, если бы общее потраченное усилие оказалось достаточно медленным для привычной организму скорости подачи кислорода. Мы как бы взяли кислород в долг, который теперь нужно отдавать. Это делается с помощью обеспечения мышцы кислородом с самой большой скоростью до тех пор, пока молочная кислота частично не сгорит, а частично не перестроится в изначальные вещества, вырабатывающие энергию. По этой причине мы продолжаем тяжело дышать, краснеть, а наше

сердце сильно бьется довольно долго, после того как мы прервали свою деятельность и свалились от усталости на землю или в кресло.

Как раз потому, что полосатые мышцы способны выполнять более напряженную и более интенсивную работу, чем мышцы внутренних органов, они подвержены усталости, но не в равной степени. Те мышцы, что предназначаются для особенно быстрого и требующего напряжения сокращения, гораздо быстрее утомляются, чем те, которые для этого не предназначены. В общем, особенно быстро сокращающиеся и особенно быстро утомляющиеся мышцы те, которые светлее цветом, чем более медленные и более выносливые. Такое разделение наиболее нам заметно, когда мы едим курицу или индейку. Грудные мышцы, предназначенные для управления крыльями, а следовательно, для тяжелой работы, — это так называемое белое мясо. Мышцы лап, предназначенные для менее интенсивной работы на протяжении более продолжительного периода времени, представляют собой темное мясо.

У человека тоже есть более темные и более светлые мышечные волокна. Когда человек стоит, большие мышцы спины постоянно поддержи-

вают его в этом состоянии, чтобы он не потерял равновесия. (Такое положение не слишком устойчиво, и, когда человек, например, слегка пьян, так что координация мышц его подводит, ему становится совсем легко упасть.) Эти мышцы спины относятся к разновидности темных, медленно устающих мышц, и даже если в конце концов мы устаем стоять, скажем, то устаем копать гораздо быстрее, ведь в этом случае вступают в игру быстро устающие мышцы руки.

Существует продолжительная адаптация к интенсивной работе мышц, которая предназначена для того, чтобы снизить эффект усталости. Сама мышца под действием продолжающейся долгое время работы в напряженном темпе (либо из-за необходимости физического труда, либо из каприза заниматься физическими упражнениями) увеличивается в размере. Это называется *гипертрофия* (по-гречески «разрастание»). У лесоруба или спортсмена мышцы больше, чем у продавца или конторского служащего, и эти большие мышцы могут сохранять больший запас веществ, выделяющих энергию, и обеспечить больше места для молочной кислоты. Легкие большего объема и сердце, перекачивающее кровь более интенсивно, снабжают большие мышцы

дополнительным количеством кислорода, в результате чего появляется возможность прилагать большую силу на протяжении более продолжительного времени с меньшей усталостью.

Хотя из-за недостатка физической нагрузки мышцы относительно слабые и маленькие, при обычных условиях нет опасности, что мышца потеряет свою способность функционировать на приемлемом, однако соответствующем сидячему образу жизни человека уровне. Поэтому нормальная мышца постоянно подвержена небольшим сокращениям, даже когда кажется, что тело находится в расслабленном состоянии. Это в некотором смысле означает, что мы постоянно упражняемся, поддерживаем мышечный тонус, то есть готовность мышц человека к немедленному сокращению. Мышцы начинают, так сказать, с фальстарта. Люди в состоянии нервного возбуждения обычно имеют более напряженный мышечный тонус, им требуется меньший стимул для того, чтобы привести мышцы в действие. По этой причине они напряжены и «нервны». Тем не менее принцип остается ценным, даже если с ним можно «переусердствовать».

Во время сна мышечный тонус снижается до минимального уровня, и мышцы могут пребы-

вать в состоянии поистине полной релаксации (расслабления), чего не могут испытывать во время бодрствования. Такая «навязанная» релаксация мышц, несомненно, является одной из жизненно важных функций сна. И это одна из причин, почему сон не только приятен, но и гораздо больше необходим, чем пища. (Бессонница — гораздо худшая пытка, чем голод, и человек умрет от отсутствия сна быстрее, чем от отсутствия пищи.)



Если мышечный тонус отсутствует постоянно, как при перерезании нерва, который ведет к мышце, тогда мышца действительно чахнет.

Она подвергается *атрофии* (что по-гречески значит «нет роста»). Если разрушающая нервы болезнь, такая, как полиомиелит, парализует ноги, мышцы ног сохнут, несмотря на то что остальное тело остается сильным и хорошо развитым. Висцеральные мышцы тогда сохраняют тонус и, следовательно, полезность, даже без нервной стимуляции, так что они не поражаются полиомиелитом. Самая большая опасность этой болезни состоит в том, что происходит паралич мышц, которые двигают грудную клетку вверх и вниз. Эти мышцы полосатые, и они обеспечивают возможность дыхания. Когда они парализованы, становится необходимым использование «искусственного легкого»; когда больной подсоединен к аппарату, изменения давления воздуха будут выполнять ту же функцию, что и грудные мышцы тех, кого не постигло такое несчастье.

Сухожилия

Самые знакомые нам мышцы — это мышцы рук и ног, поскольку мы свободно пользуемся своими конечностями, а участвующие в этом процессе мышцы заметно изменяют форму при движении конечностей. Рассмотрим мышцу плеча: она толстая в середине («брюшко» мышцы) и сужается по мере приближения к кости. Она проходит через локтевой сустав и прикрепляется к каждой из двух костей (к плечевой и лучевой костям), встречающихся в этом суставе. Когда эта мышца или любая похожая на нее сокращается, одна из костей, к которой она прикреплена, остается неподвижной в результате уравновешивающего действия других мышц (иммобилизующих мышц), присоединенных к той же кости. Место соединения этой мышцы с неподвижной костью называется местом прикрепления мышцы. Когда мышца сокращается, в движение приходит вторая кость, поворачиваясь в суставе, чтобы приблизиться к первой кости. Присоединение мышцы к кости, которая движется, — это тоже место прикрепления этой мышцы.

Место прикрепления мышцы не обязательно

одно, как в случае с мышцей плеча, где одно место прикрепления находится на верхнем конце плечевой кости рядом с плечевым суставом, а второе — над лопаткой. Такая мышца является примером *бицепса* (что по-латыни означает «двуглавый»), иногда она так и называется. В действительности это не единственная мышца с двумя местами прикрепления, поэтому ее более точное латинское название «biceps brachii» («двуглавая мышца плеча»). Прикрепление двуглавой мышцы плеча находится в верхнем конце лучевой кости рядом с локтем. Когда двуглавая мышца плеча сокращается, плечевая кость остается неподвижной, а лучевая движется в ее направлении. Рука сгибается в локте в знакомом жесте, демонстрирующем мускулы, и мускул, который таким образом образуется, — это сократившееся, утолщенное и затвердевшее «брюшко» двуглавой мышцы плеча.

Мышца обычно сужается ближе к месту прикрепления до прочного плотного тяжа соединительной ткани, образованного в сочетании с тонкой оболочкой соединительной ткани, окружающей каждое мускульное волокно. Такой тяж, прикрепляющий мышцу к кости, называется сухожилием. Сухожилия на удивление прочные

и в лабораторных испытаниях выдерживали силу растяжения до 9 тони на квадратный дюйм до того, как разорваться. Такое может произойти при сильном мышечном спазме, хотя скорее сломается кость, к которой прикрепляется мышца, чем разорвется сухожилие, соединяющее эту мышцу с костью. Вы можете прощупать сухожилие, соединяющее двуглавую мышцу плеча с лучевой костью, если согнете руку под прямым углом в локте и положите пальцы с внутренней стороны сустава.

Сухожилия служат для концентрации всей силы мышцы в одном месте кости. Естественно, случается, что нужно сдвинуть группу костей, и тогда сухожилие должно быть широким и плоским. Например, есть мышца, имеющая по-латыни название palmaris longus («длинная мышца ладони»), которая прикрепляется с одной стороны к плечевой кости, а с другой к фасции ладони. Термин *фасция* (по-латыни «полоса») означает пластину волокнистой ткани, окружающую тело под кожей и прилегающую к мышцам и группам мышц. Фасция ладони — это отрезок волокнистой ткани, которая располагается под кожей ладони.

Функция длинной мышцы ладони состоит в

сгибании запястья. Если вы вытянете руку перед собой ладонью вверх, то будете использовать эту мышцу, когда согнете руку в запястье так, что ладонь будет обращена к вам. Если бы у этой мышцы было обычное сухожилие, прикрепленное в каком-нибудь определенном месте на фасции ладони, напряжение в этой точке было бы самым большим и относительно широкая ладонь подвергалась бы неравномерной нагрузке. По этой причине сухожилие расширяется в широкую плоскую пластину, которая прикрепляется по всей ширине ладони. Такое широкое плоское сухожилие называется *апоневроз* (что значит «от сухожилия», потому что до точки, в которой оно начинает расширяться, сухожилие сохраняет свою обычную форму).

Сухожилия также служат для того, чтобы обеспечить действие на расстоянии, так сказать, когда в каком-либо месте иметь мышцы непрактично. Таким образом, полезность пальцев заключается в том, что они тонкие и маневренные, и, если вы потрогаете их, они кажутся не чем иным, как кожей и костями.

Если бы в их конструкции присутствовали мышцы, они были бы гораздо толще и мягче и потеряли бы многое из того, что ценно. Мышцы,

которые действительно двигают их, находятся в предплечье и ладони. Они имеют сухожилия, которые проходят по всей длине пальцев. Пальцы сгибаются по тому же принципу, каким кукловод управляет своими марионетками: натягивая веревки. Если напрячь пальцы, словно когти, вы почувствуете сухожилия сразу под кожей с тыльной стороны кисти руки. Иногда вы также можете их видеть, особенно там, где они проходят по суставам пальцев. Похожие сухожилия располагаются на поверхности стопы и проходят вдоль пальцев.

ДВУГЛАВАЯ МЫШЦА
ПЛЕЧА



В качестве примера особенно длинного и прочного сухожилия возьмем то, что прикрепляется к большой мышце с тыльной стороны голени; вы можете почувствовать его сразу под коленом. Голень выпячивается в этом месте, и название этой

мышцы — *икроножная.* Обычно она называется икра или задняя часть голени.

Эта мышца двуглавая, обе головки начинаются на бедренной кости сразу над коленом. В другом направлении она доходит только до середины голени (как вы можете убедиться, если напряжете ее). Ниже находится длинное крепкое сухожилие с местом прикрепления на пяточной кости (calcaneus). Это сухожилие по-латыни называется tendo calcaneus (то есть «пяточное сухожилие»), но более известное его название — *ахиллово сухожилие.* В греческой мифологии, как вам, вероятно, известно, есть легенда, в которой повествуется, что мать воина Ахилла, когда тот был еще младенцем, опускала его в воды реки Стикс, чтобы сделать неуязвимым для вражеского оружия. Однако мать держала мальчика за пятку, когда погружала в реку, и забыла опустить после этого пятку в воду. Пятка осталась незащищенной, Ахилл был убит отравленной стрелой, попавшей в пятку, — и оставил свое имя сухожилию.

Наличие ахиллова сухожилия означает, что, хотя икра и снабжена мощными мышцами, голень, лодыжки и стопы — стройные. У определенных животных, которые должны много бегать, таких, как лошади, олени и антилопы, нижняя часть

конечности (соответствующая нашим лодыжкам и стопе) сильно вытянута. Эта часть, как и у нас, остается без больших мышц.

Если вы посмотрите на лошадь, то увидите, что мощные мышцы сконцентрированы в верхней части конечности рядом с туловищем, тогда как сами конечности, снабженные сухожилиями, тонкие и изящные. Это важно в связи с их способностью развивать скорость — небольшое сокращение далеко расположенных мышц заставит тонкую легкую ногу описывать большую дугу.

Пяточное сухожилие таких животных называется еще *подколенное сухожилие*, поскольку оно соединяет нижнюю часть конечности с верхней (окороком, или ляжкой). Действие этих верхних мышц важно для ходьбы, и перерезать подколенное сухожилие животному — значит искалечить его.



У человека пяточное сухожилие соединяет пятку с икрой ноги, а не с тыльной стороной бедра. Тем не менее, вы можете почувствовать два сухожилия за своим коленом, по одному с каждой стороны, которые определяют места прикрепления к большеберцовой и малоберцовой костям нескольких мышц, проходящих по тыльной сто-

роне бедра. Эти мышцы сгибают ногу в колене, и именно эти сухожилия у человека эквивалентны подколенным сухожилиям у животных.

Мышцы в действии

Одна из функций мышц — их сокращение. Когда мышца закончила сокращаться, ей не остается ничего иного, как расслабиться. Она не может нейтрализовать или отменить предыдущее действие. К примеру, если вы сжимаете бицепс, ваша рука сгибается в локте. Если вы придадите своей руке такое положение, что предплечье будет располагаться сверху и опираться на плечо в результате сокращения бицепса, а затем расслабите бицепс, предплечье по-прежнему будет находиться в том же положении. Если определенным образом передвинуть плечо, сила гравитации станет тянуть предплечье вниз, и тогда ваша рука, вытянувшись, свободно повиснет. Но как вы сможете вытянуть руку вопреки силе гравитации, если расслабленные бицепсы этого не делают?

Ответом на этот вопрос является наличие второй мышцы, сокращение которой служит для того, чтобы вызвать движение, противоположное движению бицепса. Напротив бицепса находится вторая мышца, по-латыни называемая triceps brachii (то есть трехглавая мышца

плеча). Она названа так, потому что имеет три места прикрепления мышцы, два на плечевой кости и одно на лопатке. Фиксированное место прикрепления ее находится на локтевой кости, на стороне, противоположной той, где находится место прикрепления бицепса.

Когда трицепс сокращается, предплечье, если оно согнуто под действием сжатия бицепса, распрямляется. Действительно, сгибание руки — это результат действия не какой-то одной мышцы по ее собственному усмотрению, а хорошо скоординированное действие обеих мышц. Сила одной мышцы может распределяться очень медленно и постепенно при наличии другой мышцы, которая почти нейтрализует ее силу, но не полностью. (Это похоже на опускание рояля с помощью веревки, перекинутой через систему блоков. Действие одной силы гравитации было бы катастрофическим, но, поскольку большая часть гравитационного притяжения нейтрализуется посредством противовеса, управляемого человеком или группой людей, рояль опускается плавно.)

Вы можете сильно сжать бицепс, вообще не шевеля рукой, если трицепс равнозначно отвечает на напряжение. Держите предплечье под пря-

мым углом к плечу и напрягите бицепс, не двигая рукой. Вы почувствуете, что трицепс на другой стороне плечевой кости тоже напрягается.

Мышцы всегда действуют по меньшей мере парами, а обычно даже в более сложных скоординированных группах, так что одна мышца или группа мышц уравновешивают другую. Если есть ряд сухожилий, которые сгибают пальцы, соответствующее количество таких же сухожилий на другой стороне пальцев могут распрямлять их.

ТРЕХГЛАВАЯ
МЫШЦА ПЛЕЧА



Иногда мы можем полагаться на силу притяжения, чтобы отменять работу мышцы. Одна из функций большой икроножной мышцы задней части голени состоит в том, чтобы поднимать нас

на цыпочки. Никакой равной по величине мышцы на другой стороне большеберцовой кости не требуется, чтобы опустить нас с положения «на цыпочках». Этой цели служит сила притяжения. Именно по этой причине фронтальная часть ноги, можно сказать, не имеет мышц, и мы можем чувствовать большеберцовую кость сразу под кожей от начала и до конца.

Кости и прикрепленные к ним мышцы составляют систему рычагов. Простейшая форма рычага — это детские качели в виде доски с точкой опоры в центре рычага, имеющие с двух концов два приблизительно равных веса (обычно в виде маленьких мальчиков или девочек). Единственная цель состоит в том, чтобы изменить направленность силы так, что, когда один ребенок опускается, другой взлетает вверх, и суть такой забавы достигается именно таким образом.

Обычно же точка опоры располагается ближе к одному концу рычага, который таким образом разделяется на короткий отрезок и длинный. Относительно небольшое давление на конце длинного отрезка поднимет вверх относительно большой вес на конце короткого отрезка. Действительно, равновесие достигается тогда, когда результат силового воздействия и длина

отрезка рычага равны на том и другом конце. Если, например, длинный отрезок в десять раз превышает короткий, тогда, приложив силу в один фунт на длинном отрезке, можно поднять вес в 10 фунтов на коротком отрезке рычага.

Кажется, что поднять 10 фунтов очень легко, но конечно же все имеет цену. И эта цена проявляется в расстоянии, к которому должна прилагаться сила. Если сила в 1 фунт приложена к отрезку рычага длиной 10 дюймов, 10-фунтовый вес поднимется только на 1 дюйм. Сколько мы выигрываем в силе, столько проигрываем в расстоянии и общей работе, которая представляет собой силу, умноженную на расстояние.

Рычаг тогда не увеличивает работу, а просто обменивает расстояние на силу. Когда необходимо поднять тяжелый вес усилием, неадекватным этой задаче, если прилагать его непосредственно к поднимаемому предмету, рычаг, описанный ранее, как раз то, что надо.

Существует также возможность, что точка опоры располагается на одном конце рычага, а сила и поднимаемый вес скорее на той же стороне, а не на противоположной. Если вес ближе к точке опоры, чем сила, ситуация не меняется. Сила меньше веса, но должна пройти большее

расстояние.

Предположим, вы захотели встать на цыпочки. Икроножная мышца сокращается и приподнимает пятки вверх. Подъем свода стопы выступает в качестве точки опоры, а вес тела концентрируется где-то посредине между подъемом и пяткой. Если вес тела составляет 150 фунтов, икроножной мышце требуется надавить с силой всего лишь 75 фунтов. Наверняка ей придется приподнять пятку на 3 дюйма, чтобы приподнять тело на 1,5 дюйма, но это, по-видимому, стоит того, чтобы сэкономить 75 фунтов усилия.

И все-таки не всегда желательно увеличивать расстояние, чтобы выиграть в силе. Легко представить обратный рычаг, который намеренно увеличивает силу. У такого рычага вес будет располагаться на конце длинного отрезка, а сила прилагаться на конце короткого отрезка. Если длинный отрезок будет в десять раз превышать короткий, нам придется надавить вниз с силой 10 фунтов, чтобы поднять вес 1 фунт.

Устройство может показаться нелепым, но мы кое-что выигрываем. Однофунтовый вес на длинном отрезке рычага поднимает вверх 10 дюймов на каждый дюйм силы, с которой мы давим на короткий отрезок рычага. Допустим, мы привя-

зали к концу короткого отрезка рычага какой-то тяжелый предмет, который весит достаточно много, чтобы уравновесить небольшой вес на конце короткого отрезка. Теперь мы добавляем собственный вес к короткому отрезку рычага, так что предмет на конце длинного отрезка поднимается, описывая широкую дугу с большей скоростью, чем если бы мы могли двигать его с помощью непосредственного воздействия силы. Мы расходуем силу, чтобы выиграть в расстоянии, и получаем катапульту. То же самое верно и для такого положения, когда вес и сила находятся по одну сторону точки опоры, причем вес находится дальше от точки опоры, чем сила.

Давайте снова вернемся к бицепсу. Сокращаясь, он тянет предплечье вверх. Кости предплечья образуют рычаг с точкой опоры в локте. Бицепс прикрепляется к лучевой кости на расстоянии, которое составляет приблизительно одну четверть от всего расстояния от локтя до ладони, поэтому сила, поднимающая руку, прилагается, видимо, в 3 дюймах от локтя (точки опоры). Вес, который должен быть поднят, однако, сосредоточен в ладони на расстоянии около 12 дюймов от точки опоры. На каждый фунт сосредоточенного в вашей ладони веса, который вы должны под-

нять, бицепс должен израсходовать силу 4 фунта. Однако ему необходимо всего лишь сократиться на 1 дюйм, чтобы поднять вес на 4 дюйма, и, умножая силу, он придает руке катапультирующее действие, которое дает возможность развить значительную скорость движения.

Именно с помощью таких катапультирующих действий подающий в бейсболе может совершать быструю подачу мяча, а лошади способны переставлять ноги достаточно быстро, чтобы пуститься вскачь.

Величина силы, которую может приложить мышца, совершенно удивительная. Когда вы поднимаетесь с корточек, мышцы, распрямляющие коленный сустав, должны приложить силу около 10 фунтов на каждый фунт поднимаемого веса. Любой человек, который в состоянии поднять 200-фунтовый вес на спину (а это не слишком трудно крупному мужчине в хорошей физической форме), прилагает силу 2000 фунтов, когда распрямляет ноги, по полтонны на каждую ногу.

Некоторые отдельные мышцы

Мышцы составляют около 40 процентов веса мужчины и около 30 процентов веса женщины. Другими словами, среднестатистический мужчина будет иметь почти 60 фунтов мышц, а среднестатистическая женщина — около 35 фунтов. (Эта разница в весе мышц и объясняет тот факт, что мужчины сильнее женщин, по крайней мере физически.) Такая большая мускульная масса необходима любому животному, которому нужно быстро передвигаться, но в процессе эволюции позвоночных произошли основательные изменения в распределении, если не в количестве мышц.

Рыбы передвигаются в воде с помощью латеральных движений тела, когда хвост бьет по воде из стороны в сторону. Конечности у них небольшие и используются лишь для равновесия и разворота, а не для движения вперед. В результате именно мускулатура туловища приобретает значение, и, когда мы едим рыбу, потребляем именно мышцы туловища. (Это дает нам шанс заметить, что эти самые мышцы туловища имеют явно сегментированную структуру.)

Главным способом передвижения является отталкивание конечностей от земли или, в случае с птицами, от воздуха. Следовательно, мускулатура конечностей постепенно приобретала большее значение, а мышцы туловища постепенно уменьшились. Когда мы едим мясо птиц и животных, то потребляем в основном мышцы конечностей, и они не сегментированы.

Было бы довольно утомительно пытаться перечислить все мышцы человеческого тела; их около 650 (почти все парные), со сложными взаимодействиями между ними. Тем не менее будет полезно упомянуть еще несколько достойных внимания мышц.

Начнем с головы. Тут имеется *жевательная мышца*, которая с одной стороны прикрепляется к скуловой кости, а с другой — под углом к нижней челюсти. Как следует из ее названия, эта мышца работает при пережевывании пищи. Вы можете почувствовать, как она напрягается сразу за зубами с наружной стороны, когда сжимаете челюсть.

Среди многих мышц, которые управляют движениями головы, имеются *трапециевидная* и *груди но-ключично-сосцевидная мышцы.* Первая проходит сзади шеи и тянет голову назад, в то

время как последняя спускается вниз по боковой стороне шеи и тянет голову набок. Под грудино-ключично-сосцевидной мышцей находится splenitis (от греческого слова «повязка», потому что эта мышца по виду напоминает повязку), которая дает нам возможность качать головой.

Сразу под самым дальним краем плеча находится *дельтовидная мышца* (то есть треугольная, потому что большая греческая буква «дельта» имеет форму треугольника). Она с одной стороны крепится к ключице и лопатке, а с другой — к плечевой кости и используется для поднятия руки в направлении от тела. Вы можете почувствовать, как она напрягается, когда вы это делаете.

Действие, противоположное тому, что выполняет дельтовидная мышца, уравновешивается действием *грудной мышцы*, которая лежит под кожей каждой из грудей. С одной стороны она крепится к ключице и грудине, а с другой — тоже к плечевой кости. Она тянет руку в направлении к телу, и если вы совершите такое действие, то почувствуете (если вы мужчина), что мышца под кожей груди напрягается.

Вдоль грудной клетки проходит целый ряд мышц, которые называются *межреберными* и тянутся, как следует из названия, от одного реб-

ра к соседнему. Их функция состоит в том, что они обеспечивают расширение и сокращение грудной клетки в процессе дыхания, и изо всех мышц эти наиболее наглядно демонстрируют сегментацию, присущую всем позвоночным.

Под ребрами расположен живот, самая большая область тела, не защищенная костями. Для среднестатистического четвероногого это не слишком опасно, поскольку живот находится внизу и является наименее открытой частью тела, но, обретя вертикальное положение, человек поставил мягкое подбрюшье четвероногого в уязвимое положение. Оно уязвимо не только для вражеских действий, но также и в том смысле, что расположение внутренних органов человека ухудшилось.

В обычном положении четвероногого животного мышцы живота служили «дном» для кишечника и других внутренних органов, и для этой цели оно было хорошо приспособлено за несколько сотен тысяч лет эволюционного развития. Когда человек принял вертикальное положение, дно стало стенкой (ее часто называют *брюшной стенкой*), а для этого оно не слишком хорошо приспособлено. Если мышцы не тренировать постоянными физическими упражнениями,

они станут вялыми и будут выпячиваться наружу, образовывая неприглядный (но очень часто встречающийся) выступающий живот.

Среди мышц брюшной стенки имеется мышца (по-латыни «rectus abdominis» значит *прямая мышца живота*), которая проходит от лобка вверх до середины ребер по обе стороны средней линии тела. Между двумя этими вертикальными мышцами проходит волокнистая полоса по всей длине живота, пересекая пупок и отмечая середину тела. Это белая линия живота (linea alba). У худых и мускулистых мужчин белая линия живота видна как мелкая вертикальная колея, по обе стороны которой слегка выступает прямая мышца живота.

Косая мышца живота (transversus abdominis) проходит под прямой мышцей живота и под прямым углом к ней, выступая от белой линии живота по обе стороны тела. *Наружная косая мышца живота* (obliquus externus abdominis) также тянется с обеих сторон по бокам.

Эти мышцы, как и другие, никоим образом не образуют непроницаемую стенку. Есть постоянная опасность, усугубленная вертикальным положением человека и, следовательно, плохим расположением его внутренних органов, что

часть этих органов высунется наружу через какой-либо ослабленный участок стенки. Стенка может быть слабой от рождения или ослабнуть с возрастом. Какое-нибудь непривычное напряжение (подъем большого веса или даже судорожный кашель) может в конечном счете создать ситуацию, которая называется разрыв целостности брюшной стенки, или «грыжа». Грыжи обычно связаны с выпячиванием отрезка кишечника, и, хотя существует несколько возможных мест, около 85 процентов возникают в области паха. Это — inguinal hernias, или паховые грыжи.

На бедре расположено несколько больших мышц. Среди них — *средняя ягодичная мышца* (gluteus medius) и *большая ягодичная мышца* (gluteus maximus). Обе мышцы с одной стороны прикрепляются к подвздошной кости, а с другой — к бедренной. Среднюю ягодичную мышцу можно почувствовать по бокам, сразу под верхним изгибом тазовой кости, а большая ягодичная мышца составляет мускульную массу самих ягодиц. Вы можете ощутить, как она напрягается, когда сжимаете свои ягодицы.

Средняя ягодичная кость позволяет отодвигать бедро от средней линии тела. Большая ягодичная мышца расположена параллельно туловищу.

Если вы сидите и большая ягодичная мышца (на которой вы сидите) сокращается, то вы встаете.

Я уже упоминал об икроножной мышце. Еще одна из больших мышц ноги — *прямая мышца бедра* (rectus femoris). Это вертикальная мышца, проходящая от подвздошной кости к коленной чашечке и большеберцовой кости спереди по всей длине бедра. Она дает выпрямить ногу в колене, когдасокращается.

Конечности в основном твердые, и слои мышц строятся вокруг центральных осей — костей. Туловище устроено совсем по-другому. Костная структура в данном случае расположена не в центре, а по краям. Позвоночный столб проходит дорсалью, ребра загибаются по бокам, а грудина располагается вентрально. Плечевой пояс связывает верх, а тазовый пояс– низ. Мышцы, прикрепляющиеся к этим костям, также ограничиваются боками туловища, заполняя пространство между костями и образуя брюшную стенку в качестве продолжения границы, расположенной вентрально.

Внутри этого пространства, замкнутого костями и мышцами, имеется полость, в которой должны находиться внутренние органы тела. У млекопитающих, и только у млекопитающих,

внутреннее пространство разделено на две части тонкой перегородкой, состоящей из мышц и сухожилий, называемой *диафрагма.* Спереди она присоединена к грудине, по бокам — к нижним ребрам, а сзади к позвоночному столбу. В середине она выпячивается вперед так, что разделяет внутреннее пространство организма на меньшую верхнюю полость и большую нижнюю. Верхняя полость — это грудная клетка, нижняя — брюшная полость. Как увидим, основное содержимое грудной клетки — это легкие и сердце; основное содержимое брюшной полости — кишечник, почки и детородные органы.

Диафрагма не является герметичной перегородкой. Ряд кровеносных сосудов, нервов и даже часть пищеварительного тракта пересекают ее. Она также подвержена разрыву, когда органы брюшной полости могут высовываться наружу через ослабленный участок и образовывать диафрагмальную грыжу.

Не все полосатые мышцы, хотя и названы скелетными мышцами, присоединяются к скелету. Некоторые прикрепляются к фасции под кожей. У лошади на теле таких мышц много, как мы можем видеть, когда она подергивает кожей то в одном месте, то в другом, чтобы согнать

насекомых. Мы утратили такую способность, но до сих пор сохранили функции множества мышц под кожей лица до такой степени, что они у нас гораздо заметнее, чем у других животных. Именно эти лицевые мышцы позволяют нам смеяться, хмуриться, поджимать губы, морщить нос и придают нашим чертам лица подвижность и выразительность.

У нас есть даже небольшие мышцы, изначально предназначенные для движения ушей. У животных, таких, как собаки и лошади, эти мышцы наиболее функциональны при повороте внешней, похожей на раструб, части уха в направлении какого-либо звука. Наши уши больше не имеют сходства с раструбом, и большинство людей не может пользоваться ушными мышцами. Однако у некоторых личностей сохранилась такая функция, и они умеют шевелить ушами — достоинство, которое вызывает неизменное восхищение тех из нас, кто лишен такой исключительной способности.

Мышцы уха или, если уж на то пошло, косточки копчика представляют собой органы, которые были полезны нашим давно вымершим предкам (со стоячими ушами и длинными хвостами), но совершенно бесполезны для нас. Это *руди-*

ментарные органы (от латинского слова «след, отпечаток»). Подобно следам, они показывают, что некто когда-то прошел этой дорогой.

Глава 5
Легкие

Подача кислорода

Сокращение мышц, а также почти все другие жизненно важные процессы требуют расхода энергии. Источником этой энергии служат химические реакции, которые происходят внутри клеток, и самые важные из них с точки зрения энергии — это реакции, в которых участвует кислород.

Начнем с того, что современные теории происхождения жизни наверняка выдвигают предположение о том, что на нашей планете было мало или не было совсем свободного кислорода, доступного живым организмам. Однако с появлением растительности возник процесс фотосинтеза, при котором используется энергия солнечного излучения для разложения воды на водород и кислород. Водород способствует превращению двуокиси углерода сначала в углеводы, а затем во все остальные органические составляющие живой ткани. Кислород высвобождается в атмосферу, а после того, как зеленые растения размножились и покрыли поверхность Земли, атмосфера медленно наполнилась кислородом.

Тогда по крайней мере миллиард лет атмо-

сфера Земли содержала значительную часть свободного кислорода (сейчас в ней 21 процент кислорода). Клетки свободно существовали на нем все это время, сочетая его с пищей для выработки энергии, в то время как зеленая растительность продолжала использовать солнечную энергию для восстановления кислорода в воздухе. В результате возник точный баланс, который, как мы надеемся, сохранится на неопределенно долгое время.

Конечно, мы считаем кислород в основном компонентом атмосферы, но это частично из-за того, что мы сами — существа наземные, живущие на дне воздушного океана и непосредственно зависимые от содержания кислорода в нем. С точки зрения дыхания мы полагаем, что вода — лишь то, в чем можно утонуть. Однако наибольший отрезок времени существования жизни на нашей планете поверхность земли была неплодородной, и даже сегодня не более 15 процентов всех живых организмов обитает на Земле. Все живые организмы, не только много сотен миллионов лет назад, но и большая часть живых существ сегодня, обитают в море и не используют кислород непосредственно из атмосферы.

Но морские животные столь же зависимы от

кислорода, как и мы. То, что они живут погруженные в воду, означает, что они получают кислород из природных вод Земли способами, к которым они приспособлены, а мы — нет.

Кислород будет растворяться в воде. Литр чистой холодной воды будет содержать приблизительно 5 миллилитров кислорода. В океанической воде, которая не является чистой, но содержит 3,5 процента растворенных твердых веществ, находится больше кислорода, то есть 9 миллилитров кислорода на литр (0,8 процента объема), что во всех океанских просторах достигает цифры 10^{18} литров кислорода. От этого растворенного кислорода и зависит жизнь в океане. В воде, лишенной растворенного кислорода, рыба утонет так же легко и быстро, как и человек.

Первая проблема, которая стоит перед любым организмом, в отношении кислорода — это получение его из окружающей среды и доставка в клетки. Клеточная оболочка полупроницаемая, то есть пропускает одни вещества и не пропускает другие; она также позволяет одним веществам проходить только в одном направлении, но никак не в другом. Однако она проницаемая в любом направлении для очень небольших молекул,

которые можно назвать свободно проникающими через микроскопические поры оболочки.

Одной из этих маленьких молекул, обладающих такой привилегией, является молекула кислорода; она свободно диффундирует через оболочку в обоих направлениях, поэтому может показаться, что мы ничего не добились. Несомненно, что, когда молекула кислорода попадает в клетку, другая молекула кислорода, которая находилась внутри, выходит из нее. Это может быть неплохо в случае, если кислород остается кислородом внутри клетки.

Однако любая молекула кислорода, которая диффундирует в клетку, сразу же соединяется с веществами, находящимися внутри ее. Кислород становится частью молекул, неспособных пройти через оболочку, и таким образом попадает в ловушку. Ничто не будет диффундировать наружу, в результате чего кислород совершает путь только в одном направлении: из окружающей среды в клетку.

В общем, как только какое-нибудь вещество передвигается из положения А в положение В и наоборот, общее движение происходит от высокой концентрации к низкой. Разница концентраций — это градиент концентрации, и чем

он выше, тем быстрее происходит общее движение. Именно в этом случае кислород переходит из окружающей среды, где, если она морская, он составляет до 0,8 процента всего объема, во внутреннюю часть клетки, где его концентрация как свободного молекулярного кислорода фактически равна нулю.

Это все, конечно, хорошо для организмов, которые состоят из одной клетки или относительно небольшого числа клеток, поскольку тогда оболочка каждой клетки имеет окружающую среду с одной стороны, а протоплазму — с другой, и диффузия может зависеть от поддержания адекватного притока кислорода. Когда мы рассматриваем довольно большие организмы, возникают новые проблемы. Чем больше организм, тем большая часть клеток располагается глубоко внутри его структуры и непосредственно не контактирует с окружающей средой слоями других клеток. Опасность кислородного голодания становится более реальной.

Для того чтобы объяснить это по-другому, я процитирую то, что называется «законом обратных квадратов»: если организм увеличивается в размерах, но сохраняет свою форму, его поверхность увеличивается до квадрата его длины, в то

время как его объем составит его длину в кубе. Продемонстрируем, что это означает, на самом простом примере: предположим, организм имеет длину 1 сантиметр, площадь поверхности — 1 квадратный сантиметр и объем — 1 кубический сантиметр. Подобный организм длиной 2 сантиметра будет иметь поверхность 2 раза по 2, или 4, квадратных сантиметра, но его объем будет составлять: 2 умножить на 2 и умножить на 2, или 8 кубических сантиметров. Мы можем составить небольшую табличку, чтобы облегчить понимание:

Длина:	1	2	3	4	5	6	7
Площадь:	1	4	9	16	25	36	49
Объем:	1	8	27	64	125	216	343

Скорость, с которой кислород будет диффундировать в клетку, зависит от размера поверхности, через которую он должен пройти. Но число клеток, которые должны быть напитаны кислородом, зависит от объема организма. Если квадратный сантиметр поверхности едва может напитать кубический сантиметр объема необходимым кислородом, тогда 49 квадратных сантиметров поверхности едва смогут обеспечить 49 кубических сантиметров объема. Если

потребовать, чтобы 49 квадратных сантиметров поверхности обеспечили необходимым кислородом 343 кубических сантиметра объема, то животное, зависимое от выполнения подобных требований, умрет.

Выходом для такого организма будет изменить форму, стать более длинным и более плоским, чтобы на единицу объема приходилось как можно больше поверхности. Но в определенный момент, однако, это вызывает новые проблемы, поскольку длинные и тонкие существа становятся неуклюжими.

Лучшим и более эффективным решением будет приспособить по крайней мере часть тела к задаче обеспечения организма кислородом. Кислород тогда станет поглощаться с большей скоростью, а это, в свою очередь, даст возможность при данной площади поверхности поддерживать гораздо больший объем. Оставшаяся часть внешней поверхности животного тогда может совсем избавиться от задачи собирать кислород и сделаться непроницаемой, она может быть покрыта роговой чешуей, костяным панцирем или твердой раковиной.

Для того чтобы поддерживать высокую скорость поглощения кислорода, проходящего через

определенную площадь, также необходимо пропускать через нее поток воды. Там, где вода стоячая, концентрация кислорода в водных слоях рядом с площадью абсорбции снижается по мере того, как кислород выходит из этих слоев в клетке. Это снижает градиент концентрации, и приток кислорода замедляется. Но если водные слои рядом с площадью абсорбции постоянно изменяются, градиент концентрации все время остается высоким.

Так, хордовые воспользовались схемой, при которой вода втекает через рот, а вытекает через щели, расположенные за головой. По пути поток воды, богатой кислородом, проходит через мембраны, представляющие собой множество тонких поверхностей, которые абсорбируют кислород особенно легко. Эти мембраны называются жабрами, а щели, через которые выходит вода, — жаберные щели. Между жаберными щелями находятся скелетные опоры, или жаберные перегородки. У акул жаберные щели отдельные и видны в виде вертикальных трещин слева и справа за головой. У костных рыб имеются жаберные пластинки (покрытия), закрывающие жаберные щели, с отверстием позади.

Довольно рано появились дополнительные

средства для поглощения кислорода. Способность держаться на поверхности полезна любым живым существам, живущим в морских глубинах. Если рыба тяжелее воды, ее тянет ко дну, и приходится непрерывно и отчаянно прилагать усилия, чтобы не утонуть. Будь рыба легче воды, она поднималась бы к поверхности, и ей пришлось бы прилагать усилия столь же отчаянные и непрерывные, чтобы не взлететь. Наиболее целесообразно было бы, если бы нашлась возможность для рыбы регулировать собственный удельный вес. В этом случае она могла бы опускаться в глубину, подниматься на поверхность или оставаться в одном положении с минимальным мышечным усилием.

Решением этой проблемы стал внутренний воздушный, или плавательный, пузырь. С увеличением объема газа внутри пузыря общий удельный вес рыбы уменьшается, в то время как при снижении объема газа ее общий удельный вес возрастает. Плавательный пузырь соединяется с горлом, поэтому простейший путь регулирования подачи газа состоит в том, что рыба высовывается из воды, открывает рот и глотает немного воздуха или, наоборот, его выдыхает.

Но это выдвигает еще одну интересную возмож-

ность. Плавательный пузырь покрыт влажной оболочкой, и некоторое количество кислорода из проглатываемого воздуха будет растворяться под действием влаги. Такой растворенный кислород неминуемо диффундирует в клетки, с которыми контактирует, и вы получаете то, что можно назвать легкими. Это может быть чрезвычайно полезно. Если рыба живет в толще воды, которая по тем или иным причинам соленая и содержит мало растворенного кислорода, то любой дополнительный кислород, который она может получить, заглатывая воздух и пропуская его через плавательный пузырь, покажется ей манной небесной. Действительно, есть основание полагать, что костные рыбы впервые появились в пресной воде, которая зачастую оказывалась солоноватой, и что плавательный пузырь в первую очередь использовался как легкие и только во вторую стал служить в качестве регулятора плавучести.

Потом рыбы, которые мигрировали в богатые кислородом океаны, превратили примитивные легкие в чисто плавательный пузырь и не использовали его ни с какой-либо другой целью. По крайней мере, большинство из них. Тем не менее некоторые рыбы, которые продолжали жить в

подсоленной воде, сохранили и даже усовершенствовали легкие. Существуют разные виды рыб, дышащих легкими, живущие сегодня в Африке, Австралии и Южной Америке, которые могут обитать в грязной, мутной воде и даже значительное время оставаться живыми в высохшей грязи, перейдя с жабр на легкие.

Около 300 миллионов лет назад определенные виды рыб, дышащих легкими, превратились в амфибии и, по крайней мере во взрослой жизни, совсем отказались от жабр. Легкие амфибий были довольно примитивными по сравнению с теми, что развились позднее у их более продвинутых потомков. Это легко можно увидеть на примере современных амфибий: взрослая лягушка, хотя и дышит легкими, все же впитывает много кислорода непосредственно кожей, что можно считать шагом назад.

Нос и горло

Надо ртом у рыбы имеется пара ямок, выстланных клетками, способных определять химический состав воды, в которой рыба плавает. (У нас также есть такой же тип клеток, и мы называем ощущения, которые они вызывают, обонянием.) У некоторых высших рыб ноздри проходят в направлении рта и соединяются с задней его частью. Таким образом, пища, попавшая в рот, может быть попробована и на вкус и на запах, комбинированное ощущение более эффективно, чем только вкус или только запах. Такое положение дел сохранилось у всех четвероногих, включая и нас, и то, что мы считаем вкусом, на самом деле почти полностью запах. Доказательством этого служит состояние, когда от насморка нам закладывает нос так, что мы не чувствуем запаха. Вкус сводится почти на нет, и прием пищи становится делом не слишком приятным.

Как только установилась связь между обонятельными ямками и ртом, появилась возможность дышать с закрытым ртом. В то время как рыба должна непрестанно открывать и закрывать рот, чтобы вода проходила через жабры,

лягушка дышит, закрыв широкий рот.

Лягушка использует нижнюю часть рта в качестве насоса. Это место выпячивается вниз и всасывает воздух в легкие через то, что когда-то было обонятельными ямками; и он снова сжимается, чтобы с силой вытолкнуть воздух наружу. Рептилии и млекопитающие пользуются более эффективным насосным механизмом, потому что у них есть ребра, которые у современных амфибий отсутствуют. Когда межреберные мышцы приподнимают и расширяют грудную клетку, в груди создается разрежение, и воздух устремляется туда извне. Это — вдох. Затем другой набор межреберных мышц сжимает грудную клетку, с силой выдавливая воздух в выдохе. Оба процесса, повторяемые попеременно, составляют процесс дыхания.

У млекопитающих есть еще одно усовершенствование в виде диафрагмы. Когда грудная клетка у них приподнимается, куполообразная диафрагма выравнивается, еще больше увеличивая объем груди и ускоряя приток воздуха. Когда грудная клетка сжимается и опускается, диафрагма выпячивается вверх, помогая выталкивать воздух.

Как и лягушка, мы можем дышать с закрытым

ртом, воздух поступает в легкие через выступающий посредине лица нос, точнее, через два отверстия в носу, каждое из этих отверстий — *ноздря.* Ноздря в действительности является отверстием, как бы «просверленным» в носу, так сказать, «носовой просверленной дырой» — и таково старое значение этого слова. Ноздри по-латыни называются nares.

Будь нос не чем иным, как простым отверстием для подачи воздуха, не было бы нужды усовершенствовать его структуру. Так, у китов, где он ни больше ни меньше чем отверстие для воздуха, нос имеет единственное отверстие (у некоторых видов — двойное), расположенное на одном уровне с верхней частью головы, где может использоваться для быстрого опустошения и перезаполнения легких. Что касается процесса дыхания, у кита нет времени на ужимки.

Весь смысл состоит в скорости, и носовое отверстие или отверстия китообразных называются театрально — дыхало.

В то же время образ жизни достаточно изменчив, чтобы заставить любой орган выполнять вспомогательную и иногда вызывающую удивление функцию. Нос может утолщаться и раздуваться, как это случилось у свиней, и стать

орудием для подрыва корней. Или же он может обзавестись мясистыми наростами, как у некоторых кротов, чтобы превратиться в чуткий орган осязания взамен бесполезных в темпом подземелье глаз. Нос может даже в значительной степени удлиниться и стать манипулятором, как у слона, и превратиться в орган, по гибкости и чувствительности уступающий только руке примата.

Человек в этом смысле достиг компромисса. Нос у него прежде всего отверстие для воздуха и не выполняет никаких экзотических функций. Тем не менее, он имеет гораздо более сложную структуру, чем простое дыхало кита; для нас дыхание не является делом неотложной важности, как у кита. Наши легкие могут наполняться более медленно, поэтому наши носовые проходы удлинились, сузились и стали более сложными, чтобы воздух мог не только войти через них, но и стать по пути кондиционированным — увлажненным и теплым.

В результате удлинения проходов нос стал заметно выдаваться посередине лица, оказавшись в уязвимом положении — легко может быть разбит и даже сломан. Перегородка, разделяющая ноздри (которая в идеале проходит точно посередине), может быть деформирована, в част-

ности, искривлена. По этой причине одна из двух полостей носа сужается, что может привести к затруднению дыхания.

Наша собственная система кондиционирования воздуха начинается у самого входа в ноздри. Внутренняя поверхность кожи ноздрей у входа покрыта волосками, которые способны отфильтровывать любые грубые частицы, мелких насекомых или другие примеси, увлеченные воздушным потоком. У взрослых мужчин волосы над верхней губой могут служить дополнительной мерой предосторожности, но это не слишком важно, поскольку женщины и дети (не говоря уже о чисто выбритых мужчинах), не имеющие усов, по всей видимости, не страдают от этого.

Глубже в носу располагаются более тонкие устройства. Там воздушный ход принимает горизонтальное направление и проходит в направлении гортани. Вдоль этой горизонтальной части хода пролегают три костяных выступа, почти горизонтальные и параллельные друг другу. Они довольно замысловатой формы и в значительной степени изогнуты, напоминая морские раковины. Это *носовые раковины*, или просто раковины. Раковины разделяют воздушный ход по обеим сторонам носа на три канала, каждый

из которых называется *ход* (по-латыни meatus). Между верхними носовыми раковинами и основанием черепа имеется углубление, которое содержит специальные клетки, благодаря которым мы ощущаем запахи. Ту же функцию несут обонятельные ямки рыб, глубоко утопленные внутри рыбьего носа.

Воздух, проходя по носовым ходам, постоянно контактирует с их теплыми влажными стенками, нагревается и увлажняется сам. Более того, из-за изогнутой формы раковин воздух вынужден постоянно менять направление. Мелкие частицы, которые смогли миновать волосатую ловушку ноздрей, не способны изменить направление столь же легко, как гораздо более легкие молекулы воздуха, и у каждого выступа частица вынуждена вступать в контакт с оболочкой полости носа.

Эта оболочка всегда липко-влажная, потому что содержит бокаловидные клетки, которые секретируют вязкую жидкость, называемую слизью. По этой причине оболочка носовой полости служит примером слизистой оболочки. Частицы, вступающие в контакт с носовой оболочкой, прилипают к ней, попадая в ловушку. Носовые ходы далее смачиваются жидкостью, просачи-

вающейся из четырех пар полостей в лицевых костях. Они расположены в лобной (*лобные пазухи*), решетчатой (*решетчатый лабиринт*), клиновидной и верхнечелюстной (*гайморова пазуха*) костях и называются пазухами или синусами (по-латыни так называется полость с единственным отверстием). Пазухи выстланы крошечными ресничками, которые образуют завихрения жидкости, проходящей через узкие отверстия, соединяющие их с носовыми ходами.

У большинства четвероногих млекопитающих пазухи расположены так, что сток происходит вниз. Однако, когда человек обрел вертикальное положение, пазухи несколько запрокинулись вверх и приняли почти горизонтальное положение. Сток оказался неэффективен, особенно когда носовая камера забита во время насморка, поэтому жидкость может скапливаться в пазухах, и тогда давление вызывает мучительную головную боль. Тот, кто испытал приступ гайморита, может быть уверен, что неприятным последствием нашего прямохождения стала не только сила гравитации, которую нам приходится преодолевать.

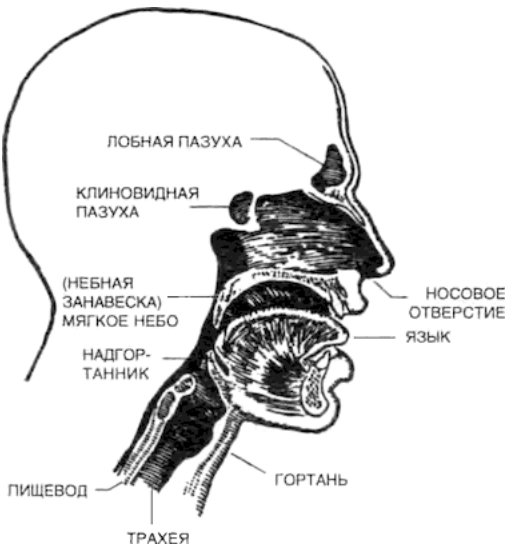
Слизистая оболочка носовых ходов также содержит ресничные клетки. Реснички постоянно

движутся в направлении, противоположном воздушному потоку, и любая частица, которая избежала все ловушки, расставленные для нее, относится назад и вынуждена проходить их заново. Носовые ходы можно освободить от скопившейся слизи с пойманными ею инородными частицами посредством в зрывоподобного выдоха воздуха: чиханья.

Это рефлекторное действие вызывается любым раздражением оболочки носа, и его невозможно контролировать сознательно, как вам прекрасно известно, если вы когда-либо пытались избежать чиханья, когда оно было нежелательным. В результате воздух (если, конечно, он загрязнен в разумных пределах) входит в легкие в на удивление чистом состоянии. К несчастью, современный человек использует воздух в качестве свалки отходов, а с этим не справиться даже нашему хорошо приспособленному носу. Несчетные тонны пыли и дыма нависают над каждым большим городом, и легкие городских жителей со временем постепенно чернеют.

Кондиционировать поступающий воздух легче в странах с теплым и влажным климатом. Это может быть одной из причин, по которой у африканских негров широкие ноздри и короткие носы.

Жители Европы имеют узкие ноздри и длинные носы, а длинные и узкие носовые ходы повышают эффективность согревания и увлажнения.



Поскольку носовые ходы открыты внешнему миру, они принимают на себя главный удар всех его опасностей, а потому особенно подвержены инфекции. В результате пребывания в сырости или на холоде, поступив от уже зараженного человека, вирус простуды или гриппа может

начать размножаться в носовых ходах. Слизистая оболочка реагирует усилением своей защитной функции до такой степени, что не только не помогает, а скорее начинает причинять неприятности. Обильный поток слизи вызывает знакомый всем насморк. Этот поток, сопровождаемый отеком многочисленных небольших кровеносных сосудиков в слизистой оболочке, закладывает ходы, затрудняет дыхание через нос либо делает его невозможным. Прибавьте к этому непрестанное рефлекторное чиханье — и картина бедствия исчерпывающая.

Тот же набор неприятных реакций может возникнуть в ответ не на вирус, а на чужеродный белок, который сам по себе безобиден, но на который у организма повышенная чувствительность. В конце лета и осени, к примеру, пыльца многих растений «висит» в воздухе. Большинство из нас никак не реагирует на это. Частицы пыльцы отфильтровываются, как любые другие частицы, только и всего. Однако для тех, кто страдает сенной лихорадкой, контакт с частицами пыльцы вызывает у дыхательной системы спазм чрезмерной защиты. Это пример аллергической реакции. Точно так же, как в случае простуды, появляется насморк, частое чиханье и закупорка

носовых ходов.

Носовые ходы соединяются с пищеварительным каналом сразу за ротовой полостью области, называемой *горлом* или *глоткой.* Объединение двух каналов (дыхательного и пищеварительного) в этом месте дает возможность с умеренным комфортом дышать через рот. Действительно, когда носовые ходы заложены от простуды или от аллергии, остается либо дышать через рот, либо умирать. Тем не менее два эти вида дыхания неравнозначны. Во рту нет приспособлений, необходимых для надлежащей очистки воздуха, и, за исключением тех случаев, когда это диктует необходимость, желательно дышать через нос.

Хотя два этих канала и соединяются в горле, они не остаются в таком положении, а впоследствии разделяются. К несчастью, в процессе этого они пересекаются. То есть дыхательный проход входит в гортань сзади, но ниже горла он располагается впереди пищевода. Такое пересечение предоставляет пище или воздуху возможность пойти по неправильному пути. В случае с воздухом это не представляет серьезной опасности. Во-первых, мало вероятности, что воздух пойдет не туда, — он движется в направлении более низкого давления, то есть в направлении к рас-

ширяющимся легким. Но даже если какая-то его часть и попадет в пищевод, в худшем случае он вызовет легкое временное чувство дискомфорта. В случае с пищей дело гораздо серьезнее. Несмотря на существующие меры предосторожности, еда или питье могут попасть в дыхательный ход под действием области низкого давления, точно так же, как и воздух. И если хоть небольшое количество твердого или жидкого вещества попадет в дыхательные проходы, дыхание может быть заблокировано, вызывая удушье.

Против этого, конечно, предприняты специальные меры предосторожности. Отверстие дыхательного прохода располагается позади и ниже языка и называется голосовой щелью. Сразу над голосовой щелью находится хрящевая створка, прилегающая к корню языка и называемая надгортанником. В процессе глотания, когда пища или вода продвигается по горлу, голосовая щель автоматически движется под надгортанником, образуя тугое уплотнение. Только один проход остается открытым, и он занят проглатываемой пищей, которая движется вниз, в направлении желудка, а не легких. Вы сами можете провести такой эксперимент: сделайте глотательное движение, и вы обнаружите, что при этом дышать

невозможно.

Надгортанник и створка объединенными усилиями производят звук, знакомый всем нам. Сжимающаяся створка иногда подвержена периодическим спазмам, которые расширяют легочные полости и приводят к сильному напору воздуха. Надгортанник захлопывается над голосовой щелью, чтобы прекратить приток воздуха, и воздух, которому внезапно придали движение и так же внезапно остановленный, производит резкий звук, который мы называем икотой.



Организм не полностью зависит от безукоризненного функционирования надгортанника — дело ведь жизненно важное. Дыхательный про-

ход ниже надгортанника выстлан ресничками, которые загибаются вверх, чтобы воспрепятствовать даже крошечным частичкам, которые могут туда попасть. Кроме того, любой контакт ощутимой частицы твердого вещества или капли жидкости с голосовой щелью вызывает ряд взрывных извержений воздуха, которые непременно «выдуют» ее наружу. Это конечно же кашель. Когда по какой-то причине надгортанник вовремя не переходит через голосовую щель, мы давимся, и нас сотрясает удушающий приступ кашля, который наверняка оставил у большинства из нас неприятные воспоминания.

Однако чаще всего мы связываем кашель с какой-то инфекцией. Воспаление в горле, которое часто сопровождает простуду, вынуждает слизистую оболочку этой области выделять слизь в избытке. Ситуация осложняется слизью, поступающей из воспаленных носовых ходов сверху. Спастический кашель, который сопутствует простуде, — это попытка организма избавиться от слизи.

Также не исключена возможность того, что после проглатывания пища и вода могут попадать в носовые ходы наверху. Это будет движение, происходящее вопреки силе тяготения, поэтому

эта неприятность менее вероятна. Тем не менее организм предотвращает такую возможность, прижимая тканевую створку к верхнему дыхательному проходу при глотании как раз в тот момент, когда надгортанник закрывает нижний дыхательный проход. Тканевая створка, защищающая верхний дыхательный проход, является продолжением свода ротовой полости, или нёба. Поскольку свод ротовой полости образован костью, это *твердое нёбо.* Позади твердой части находится мягкий, обращенный назад, выступ — мягкое небо, и именно оно заканчивается охранительной тканевой створкой. Вы можете увидеть эту тканевую створку, если широко откроете рот и посмотрите в зеркало. Она свисает вниз из центра задней части ротовой полости, по виду напоминает виноградину и называется *небный язычок.* Небный язычок — причина храпа. Поток воздуха, проходящий мимо него, может вызывать его дребезжащую вибрацию. Бодрствуя, мы автоматически держим проход широко открытым, чтобы подобного не произошло, ночью некоторые из нас этого не делают, что окружающие обнаруживают к своему огромному сожалению.

Голос

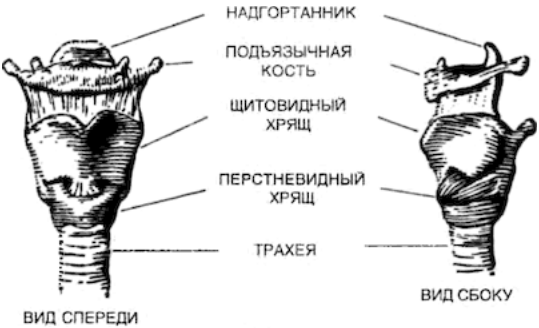
Все, что движется, склонно производить вибрации воздуха, которые мы ощущаем как звук. По этой причине звук может быть атрибутом неживого мира, например когда волны накатывают на берег. Или может быть навязан живым организмам извне, и тогда листья дерева, например, шуршат на ветру. В мире животных тоже огромное разнообразие звуков — от резкого скрипа сверчка до трубного гласа слона.

Звуки имеют и отрицательную сторону. Если звук предвещает чье-то приближение, он может оказаться предупреждением для жертвы, за которой охотятся, поэтому кошка ходит на мягких подушечках лап, чтобы заглушить звук своих шагов. Чаще звук используется в качестве психологического оружия, как сигнальный код или как призыв к спариванию. Принимая во внимание, что живое существо должно отыскать представителя противоположного пола своего вида среди бесчисленного множества существ других видов, все, что увеличит шансы и быстроту нахождения и опознавания себе подобных, полезно.

У млекопитающих часть дыхательного прохода

приспособлена для того, чтобы издавать звук. У человека эта специализированная область находится непосредственно под голосовой щелью. Она защищена *щитовидным хрящом*, который почти окружает ее. Щитовидный хрящ называется так, потому что обладает направленной вниз выемкой вверху его вентральной поверхности, что делает его похожим на греческий щит времен Гомера. Вы легко можете нащупать эту выемку пальцами, если потрогаете переднюю сторону шеи сразу под подбородком. Сразу за щитовидным хрящом находится еще одно жесткое кольцо, перстневидный хрящ.

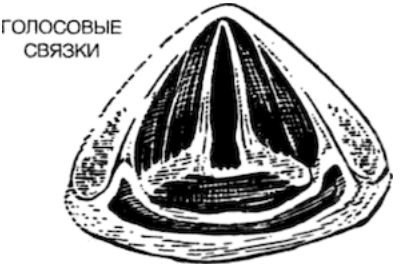
Вокруг голосовой щели находятся две тканевые складки, называемые голосовыми-связками, а пространство между ними называется rima glottidis (что по-латыни означает «гортанная щель»). Голосовые связки прикреплены спереди к середине щитовидного хряща. Сзади каждая связка прикрепляется к одному из двух небольших хрящей, называемых *черпаловидные хрящи.*



ГОРТАНЬ

Связки и хрящи вместе составляют *голосовую полость*, или, пользуясь греческим термином неясного происхождения, *гортань*.

Небольшие мышцы могут поворачивать черпаловидные хрящи таким образом, что голосовые связки отодвигаются друг от друга, образуя латинскую букву «V» вершиной вперед. При этом rima glottidis достаточно широка, чтобы воздух проходил не задевая голосовых связок. Однако поворот в противоположном направлении сводит голосовые связки — они параллельно сближаются. Для воздуха остается только узкий проход, и, когда воздушный поток движется мимо голосовых связок, он вызывает их вибрацию. Именно это вы делаете, когда напеваете не открывая рта.



Чем быстрее и чем с большей силой воздух проталкивается мимо связок, тем громче звук. Более того, существует возможность подвергать голосовые связки разной степени напряжению. Чем напряженнее связки, тем выше тон звука. Мы не отдаем себе отчета в том, что напрягаем или расслабляем связки, но именно это делаем, когда поем.

Хотя с помощью тренировки певец может научиться проделывать удивительные манипуляции со своими голосовыми связками в области контролируемых вариаций высоты тона, существует предел, которого он может достичь, поскольку всего лишь напрягает или расслабляет голосовые связки. Короткие связки будут производить более высокие звуки, чем длинные, и именно поэтому мужские голоса в основном ниже женских. В то время как длина rima glottidis

у мужчин до 1 дюйма, у женщин она всего около 0,6 дюйма.

Понятно, что у детей голосовые связки еще короче, судя по их высоким голосам и пронзительной резкости детского крика. У мальчиков гортань начинает увеличиваться в размерах в начале подросткового периода, и мальчишеское сопрано превращается в баритон. Эта перемена может произойти быстрее, чем мальчик научится управлять мускульными движениями, связанными с контролем напряженности голосовых связок. Подросток обнаруживает, что наступил возраст, когда его голос ломается, и он говорит, нелепо чередуя баритон с тенором. Это одна из отвратительных неприятностей раннего подросткового возраста. Окончательный размер гортани взрослого человека не обязательно зависит от размера тела. Рослый здоровый атлет может говорить писклявым тенором, а низкий хрупкий мужчина обладать звучным баритоном.

У мужчин гортань имеет угловой выступ на передней стороне шеи, отмечая угол срастания пластинок щитовидного хряща, наиболее заметный у худых. У женщин, гортань которых, во-первых, меньше, а во-вторых, находится под более толстым слоем жира, смягчающим линии

тела, такой выступ не очень заметен.

При глотании, по мере того как гортань движется над голосовой щелью, голосовая щель (и гортань, которая ее окружает) приподнимается в ответ. Когда процесс глотания закончен, голосовая щель и гортань снова опускаются. В результате видимый выступ щитовидного хряща совершает явное (и немного смешное) колебательное (вверх-вниз) движение. Такое движение по большей части заметно у мужчин и создает впечатление, что нечто проглатываемое застряло в горле. Это воплотилось в легенде, в которой говорилось, что Адам никак не мог проглотить откушенный кусочек яблока, он застрял у него в горле. С тех пор у всех потомков Адама по мужской линии остался след в форме углового выступа (кадыка) гортани. Эта легенда, совершенно небиблейская и далекая от действительности, упомянута мною здесь только по причине того, что кадык еще обычно называют адамовым яблоком.

Носовые ходы, ротовая полость и грудная клетка вместе образуют резонирующую камеру для звуков, издаваемых голосовыми связками. Одни только голосовые связки создадут относительно несложный и слабый звук, и своей

способностью кричать мы обязаны этой самой камере-резонатору. Обезьяны-ревуны имеют такие резонирующие камеры, что их крики слышны за милю и даже более. Более того, резонирующая камера добавляет оттенки обертонам, которые придают голосу тембр. Поскольку нет двоих людей, у которых нос, рот, горло и грудная клетка были бы одинаковой формы, нет двоих людей, которые имели бы совершенно одинаковые голоса. Наши уши обладают способностью различать мельчайшие различия в тембре, и именно поэтому мы сразу же узнаем голоса друзей, любимых, даже когда их искажают телефонные аппараты или когда мы не слышали их довольно давно. Именно поэтому мать быстро отличает громкий плач собственного младенца от криков других малышей по соседству и немедленно реагирует на единственный плач, оставаясь равнодушной к другим.

Человеку повезло — у него необычайно хорошо развитая гортань. (У большинства амфибий и рептилий по сравнению с человеком гортань довольно грубая. У птиц она имеется, но характерное птичье пение осуществляет другой орган — сиринх, илинижняя гортань певчих птиц.) Но не гортань человека имеет решающее значение

в развитии человеческой речи, а его способность, благодаря развитому мозгу и нервной системе, контролировать многочисленные тонкие мышцы, которые изменяют состояние голосовых связок и природу резонирующей камеры.

В частности, рот легко, быстро и деликатно изменяет форму посредством движения губ, языка и щек, чтобы издавать различные звуки. Когда доступ воздуха не прерывается, произносятся различные гласные, а когда воздух с силой проталкивается через узкие отверстия, как при произнесении звуков «ф» или «с», либо поток воздуха временно полностью прерывается при произнесении звуков «п» или «к» — то согласные. Во время быстрого и постоянного изменения формы рта воспроизводится весь спектр сменяющихся звуков в форме достаточно сложной, чтобы выполнять роль коммуникативного кода.

Таким образом, абстрактные мысли могут быть выражены с удивительной ясностью.

Другие животные тоже общаются, и некоторые делают это не только с помощью звуков. (Пчелы обмениваются информацией с помощью танца, другие насекомые могут иметь «призыв к спариванию», который зависит от обоняния.) Тем не менее, ни одно живое существо на земле, кроме

человека[8], не может общаться в столь сложной манере. Даже шимпанзе способен научиться говорить всего несколько нечленораздельных искаженных слов. Некоторые птицы могут научиться повторять человеческую речь и даже обзавестись небольшим словарным запасом, но они произносят слова по-другому, скорее «прочирикивают» их, чем выговаривают, и конечно же не понимают того, что говорят.

Во взрослом возрасте мы не отдаем себе отчет о чрезвычайно сложных мышечных движениях, связанных с речью, но это лишь по той причине, что привычка стала нашей второй натурой. Те из нас, кто вырастил ребенка, знают, что требуются годы, чтобы научиться говорить членораздельно.

Инфекции горла и носовых ходов изменяют форму резонирующих камер и тем самым — звук голоса, так его огрубляя, что мы говорим хрипло. Когда поражена слизистая оболочка гортани (ларингит), наша речь может превратиться в шепот. (При шепоте голосовые связки не действуют, а работают тканевые складки, иногда называемые

[8] Примечания: 8

Есть веская причина предполагать, что дельфины и родственные им животные, у которых мозг больше и более сложный, чем наш собственный, способны к связной речи.

фальшивые голосовые связки, которые располагаются сразу над самими голосовыми связками.)

Бронхиальное дерево

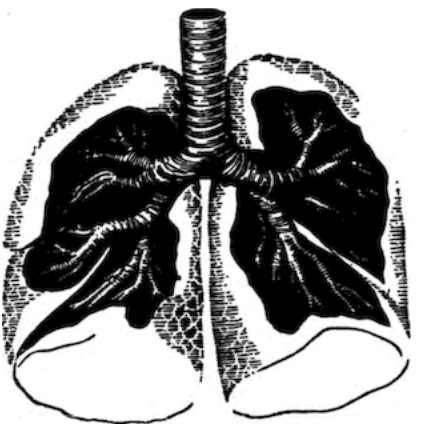
Ниже гортани находится вертикальная трубка длиной около 4,5 дюйма и диаметром 1 дюйм, которая располагается сразу под вентральной поверхностью шеи. Важно, чтобы эта трубка всегда была открыта: если подача воздуха в легкие прервется даже на несколько минут, последует смерть. По этой причине трубка снабжена С-образными кольцами крепких хрящей для придания жесткости ее передней части и боковинам. Таких колец, разделенных волокнистой соединительной тканью, бывает от 16 до 20 штук. Они могут сжиматься под действием мышц, соединяющих открытые концы так, что диаметр трубки при желании может немного меняться.

Если запрокинуть голову, вы можете почувствовать эту трубку, проведя пальцами вниз по фронтальной стороне шеи. Вы также почувствуете рубчики, образованные чередованием хрящей и волокнистой ткани, что придает трубке ощущение шероховатости. Именно поэтому она и названа *трахея* (что по-гречески означает «грубый, шероховатый»), хотя более наглядное и менее классическое ее название — дыхательное

горло.

Несмотря на хрящевое уплотнение, дыхательное горло все-таки можно закрыть силой. Однако для того, чтобы сделать это рукой, требуется значительное усилие, дыхательное горло нужно держать закрытым на протяжении нескольких минут вопреки дикому сопротивлению жертвы, которая от этого должна задохнуться. Совершить такое убийство не так уж и просто.

Чуть ниже точки, где шея встречается с туловищем, трахея расходится на две ветви, называемые *бронхи* (что по-гречески означает «дыхательное горло»).



Каждый бронх ведет к отдельному легкому, по пути подразделяется на все более мелкие, тонкие и многочисленные трубочки, вроде ветвей дерева. Это сходство и побудило назвать всю эту структуру «бронхиальным деревом». В более основательных ответвлениях также имеются придающие жесткость хрящевые кольца, но по мере того, как ответвления становятся меньше, хрящи становятся менее выступающими и в конце концов сходят на нет. Когда разрушительное действие простуды или какой-то другой инфекции простирается вплоть до бронхов (*бронхит*), спазмы кашля бывают особенно мучительны. Бронхит легко может стать хроническим, особенно у курящих.

Несколько меньшие по размеру ответвления бронхиального дерева (бронхиолы) являются источником другого сорта неприятностей. Тонкие ответвления воздушных ходов выстланы круговыми мышцами, которые посредством сжатия или расслабления могут изменять диаметр, способствуя таким образом регуляции воздуховместимости легких. Иногда, в результате инфекции или аллергической реакции на какое-нибудь чужеродное вещество, происходит спазматическое сокращение мелких мышц и отек

слизистых оболочек бронхиол. Воздушные ходы сужаются, и вместимость легких сокращается. Иногда доходит до удушья, и, хотя приступ астмы (что по-гречески значит «дышать с трудом») редко бывает смертельным, он определенно может отравить радость жизни.

Окружение бронхиального дерева, которое отходит от каждого главного бронха, — это легкие. Они простираются от ключицы до диафрагмы, располагаясь по одному с каждой стороны тела. Вместе они заполняют почти всю грудную полость. Легкие не являются полным зеркальным отражением друг друга. Правое легкое, которое несколько больше левого, частично разделяется на три доли, левое — только на две. Эти доли до определенной степени автономны, и, если одна доля пострадает от серьезного заболевания, другие доли остаются здоровыми. В этом случае подверженную инфекции долю можно удалить, оставив остальные доли нормально функционировать. Удаление доли не будет серьезной помехой дыханию. У многих органов имеется природный запас прочности, когда общая производительность больше, чем это необходимо. В таких случаях даже при утрате некоторой части у органа остается возможность нести нагрузку,

достаточную для всех разумных целей.

Максимальная вместимость легкого в среднем около 6500 кубических сантиметров. Однако это не объем легких, а площадь поверхности, которую они представляют. Воздух может абсорбироваться только на поверхности, и количество его где-то в центре легких, которое случайно оказалось вне контакта с поверхностью, абсорбироваться не может. Тот факт, что воздух находится внутри легких, не имеет значения. Он с таким же успехом может находиться хоть в Африке, разницы для абсорбции не будет.

Это действительно представляло бы проблему, будь легкие простой парой шарообразных органов, вмещающих воздух в полую внутреннюю емкость, ограниченную гладкими стенками. В этом случае поверхность легких, соприкасающаяся с воздухом, насчитывала бы почти 2000 квадратных сантиметров. Легкие действительно представляют собой относительно простые мешки у двоякодышащих рыб, амфибий и рептилий, но все они — хладнокровные существа (то есть животные с температурой тела, приблизительно равной температуре окружающей среды). Хладнокровные могут при надлежащих условиях впадать в анабиоз.

Птицы и млекопитающие — теплокровные животные. Температура их тела поддерживается около 40 °C (нормальная температура для человека обычно составляет 36,6 °C, независимо от температуры окружающей среды. Эта необходимость постоянно вырабатывать тепло в ответ на холодный ветер поддерживает химическую лабораторию нашего организма в рабочем состоянии с высокой производительностью. Скорость всех химических реакций возрастает с ростом температуры. Для поддержания высокой скорости работы нашего химического механизма необходимо гораздо больше кислорода, чем требуется поверхности хладнокровного животного такого же веса. По этой причине легкие в форме простого мешка нам не подходят. 2 квадратных футов поверхности нам недостаточно. Для увеличения площади поверхности приходится разделять и разделять внутреннюю часть легких, и именно это и делают бронхи и бронхиолы. Стенки бронхов и главных бронхиол слишком толстые, чтобы поглощать воздух, но по мере того, как бронхиолы становятся меньше и тоньше, их стенки тоже становятся тоньше, до тех пор, пока, наконец, в самых мелких бронхиолах не возникнут условия для абсорбции. Эти дыхательные бронхиолы

ведут в несколько ходов, каждый из которых заканчивается скоплением воздушных мешочков, похожих на крошечную виноградную гроздь. Воздушные мешочки заканчиваются крошечными воздушными клетками, *альвеолами* (по-латыни это означает «небольшая полость»).

Вся эта тонкостенная структура, включая дыхательные бронхиолы, ходы (обычно называемые альвеолярные ходы), воздушные мешочки и альвеолы, составляет так называемую функционально-анатомическую единицу. Более образно ее можно назвать листом бронхиального дерева. Стенки альвеол представляют собой клеточные мембраны, и через эти тонкие мембраны может свободно проходить кислород, конечно же в обоих направлениях, но сами ткани организма фактически не содержат свободного кислорода, а воздух в альвеолах содержит его в большом количестве, поэтому поток направлен из легких в сам организм. (Пожалуйста, помните, что, хотя легкие и расположены внутри тела, воздух не располагается внутри легких. Этот воздух беспрепятственно связывается с воздухом, находящимся вне ваших ноздрей, и его можно считать находящимся внутри вашего тела с таким же успехом, как и воздух в дырке бублика — внутри самого

бублика. Только тогда, когда кислород проникает через мембрану альвеол, он входит в организм.)

Поскольку объем легкого полностью подразделяется на функционально-анатомические единицы, легкое никак нельзя считать мешком, оно скорее представляет собой очень сложную губку. Поскольку воздух остается в этой губчатой массе даже после смерти, легкие, извлеченные из убитых животных, плавают в воде — единственные органы, которые не тонут. Поэтому-то мясники и назвали их легкими. Тем не менее легкие взрослого человека весят от 2 до 2,5 фунта.

Установлено, что губчатая масса легких содержит в целом около 600 миллионов альвеол, поглощение кислорода возможно на общей поверхности площадью по меньшей мере 600 квадратных футов. Тогда без увеличения общего объема легких поверхность, подвергающаяся абсорбции, в 300 раз превышает ту поверхность, которую имели бы легкие, будь они простым мешком. Другими словами, площадь поверхности легких, на которой совершается газообмен, в 25 раз превышает общую поверхность кожи тела.

Легкие, как и остальные дыхательные пути, подвержены инфекционным воспалительным процессам. Одним из распространенных заболе-

ваний легких является долевая пневмония. Ее зачастую называют просто пневмония, хотя этот термин в действительности относится к целому семейству легочных воспалений. При долевой пневмонии выделяемая жидкость заполняет зараженную часть легких. Часто поражена бывает только одна доля, отсюда и название, но, когда болезнь захватывает доли обоих легких, возникает так называемая двусторонняя пневмония.

Вторая бактериальная болезнь легких — туберкулез — получила такое название потому, что в очагах заражения образуются воспаленные узелки, называемые *туберкулы* (что по-латыни означает «небольшая опухоль»). Другое название — чахотка относится к истощению тканей, которое сопутствует этой болезни, и в результате создается впечатление, что все тело чахнет. Рак, который может поразить любую ткань организма, в последние десятилетия все чаще возникает в легких, что, похоже, спровоцировано ростом табакокурения после Второй мировой войны, ведь этот недуг гораздо чаще встречается у заядлых курильщиков, чем у некурящих.

Дыхание

Воздуха в легких недостаточно, чтобы довольно долго поддерживать жизнь. Через несколько минут запас кислорода закончится, и будет необходимо возобновить подачу воздуха. Старый воздух выводится, а новый подается с помощью дыхания. У взрослого человека в состоянии покоя частота дыхания составляет от 14 до 20 вдохов в минуту, в зависимости от габаритов индивидуума. Чем меньше человек, тем больше частота его дыхания, именно поэтому дети дышат гораздо чаще, чем взрослые. (Если уж на то пошло, частота дыхания крысы составляет 60 вдохов в минуту, канарейки — 108. А лошадь делает всего 12 вдохов в минуту.)

Даже за короткий промежуток времени между вдохом и выдохом состав воздуха изменяется в результате процессов, происходящих в легких.

Воздух, который вы вдыхаете, на 21 процент кислород и на 0,03 процента двуокись углерода. Воздух, который вы выдыхаете, на 14 процентов кислород и на 5,6 процента углекислый газ. (Как видите, не весь кислород заменяется углекислым газом. Некоторая часть его связывается, образуя

воду, что не принимается в расчет при вычислении состава воздуха. Он обычно подсчитывается на основе «веса в сухом состоянии», когда количество воды вычитается.)

Содержимое легких за один вдох и выдох не обновляется полностью. Фактически, при обычных условиях покоя расширение и сжатие легких едва заметно. С каждым спокойным вдохом только 500 кубических сантиметров воздуха входит в легкие, а с каждым спокойным выдохом 500 кубических сантиметров воздуха их покидает. И даже эти цифры несколько преувеличены. При обычном вдохе первый воздух, попадающий в сами легкие, — это тот, который находился в бронхах, гортани и носу, то есть выведенный из легких в процессе предыдущего выдоха, но не вытолкнутый в окружающую среду. Затем, после того как процесс вдыхания завершился, некоторая часть свежего воздуха, который вошел через ноздри, остается в дыхательных ходах, где он бесполезен, и выдыхается снова еще до того, как сможет попасть в легкие. «Мертвая зона», представленная дыхательными ходами между ноздрями и легкими, составляет до 150 кубических сантиметров, поэтому свежий воздух, который действительно входит в легкие с каждым вдохом, может состав-

лять не более 350 кубических сантиметров. Это только $1/_{18}$ общей вместимости легких и называется *дыхательный объем.*

Частичной замены воздуха внутри легких (альвеолярного воздуха) посредством нашего нормального поверхностного дыхания вполне достаточно для привычных целей. Мы к тому же способны сделать глубокий вдох, принуждая пойти в легкие гораздо больше воздуха, чем попадает туда обычно. После того как 500 кубических сантиметров воздуха попали в легкие при спокойном вдохе, можно всосать 2500 дополнительных кубических сантиметров. С другой стороны, можно приложить усилие и вытолкнуть 700 кубических сантиметров дополнительного воздуха из легких после того, как завершится обычный спокойный выдох. Если постараться и выдохнуть из легких весь воздух, а затем сделать самый глубокий, какой только возможно, вдох, то гораздо более 4000 кубических сантиметров нового воздуха могут попасть в легкие за один вдох и выдох. Это

жизненная емкость легких — ЖЕЛ[9].

Даже приложив максимум усилий, легкие невозможно полностью лишить воздуха. После того как последний пузырек воздуха с усилием выталкивается наружу, там остается около 1200 кубических сантиметров. Это остаточный объем — мера необходимой неэффективности легких, вызванной тем фактом, что эти органы «тупиковые». (В этом отношении птицы приспособлены гораздо лучше, чем млекопитающие, поскольку у первых в некоторых из трубчатых костей и в мышцах имеются воздушные мешки. При дыхании альвеолярный воздух полностью выталкивается из легких и попадает в эти воздушные мешки, таким образом легкие основательно вентилируются. Эта несколько лучшая приспособленность важна для птиц, поскольку полет в воздухе — процесс более энергопоглощающий, чем передвижение по земле.)

---

[9] Примечания: 9

Всегда полезно приводить цифры, поскольку они дают контрастную картину сложившейся ситуации, а это обычно доставляет удовольствие читателю. Однако не стоит забывать, что эта картина фактически не столь уж отчетлива. Люди бывают неодинаковой комплекции и живут в разных условиях, поэтому нет таких цифр, которые можно было бы отнести ко всем без исключения. К примеру, ведущая сидячий образ жизни женщина с небольшими по размеру легкими может иметь ЖЕЛ не больше 3000 кубических сантиметров, в то время как у тренированного спортсмена ЖЕЛ может быть до 6500 кубических сантиметров.

Дыхание находится как под сознательным, так и под неосознанным (непроизвольным) контролем. Вы можете, если пожелаете, заставить свои легкие подчиняться вашему желанию — заниматься дыхательной гимнастикой или полностью задержать дыхание на несколько минут. Этот осознанный контроль важен, поскольку дает нам возможность плавать под водой или миновать место, наполненное ядовитыми парами. Менее очевиден тот факт, что мы не можем говорить, если не будем контролировать свое дыхание. (Попробуйте говорить не переводя дыхания и делая время от времени быстрые вдохи между словами. Именно эта задержка дыхания заставляет вас замолчать, чтобы передохнуть после того, как вы говорили слишком быстро и слишком долго. И одно из необходимых требований театральной жизни состоит в том, что актер учится контролировать свое дыхание до такой степени, чтобы быть способным произносить пространные речи или петь длинные арии звучным голосом без необходимости останавливаться, чтобы восстановить дыхание, за исключением тех ненавязчивых пауз, которые не противоречат замыслу постановки.)

Но с дыханием в большей мере связан неосо-

знанный контроль. Когда мы спим или бодрствуем, но думаем о другом, дыхание следует равномерному ритму с частотой и интенсивностью, предназначенными доставлять нам кислород, в котором мы нуждаемся в данный момент.

Этой неосознанной скоростью дыхания управляет концентрация углекислого газа в альвеолах. Если концентрация превышает норму, дыхание учащается и становится глубже. Если концентрация снижается и становится ниже нормального предела, дыхание замедляется и становится поверхностным.

Когда осознанный контроль дыхания доводит человека до критической точки опасности, на сцену вступает неосознанный контроль. Таким образом, если вы намеренно дышите неглубоко или задерживаете дыхание, вам быстро станет не по себе. Рано или поздно вы сдадитесь, и, поскольку позволили двуокиси углерода скопиться в своих легких из-за недостаточной их вентиляции, вам волей-неволей придется пройти период глубокого и быстрого дыхания, которое снизит концентрацию углекислого газа до нормы. Даже если вы примете твердое решение задерживать дыхание до тех пор, пока не потеряете сознание,

неосознанный механизм контроля все равно вступит в действие. Детям, которые угрожают покончить жизнь самоубийством, перестав дышать, никогда не удается этого сделать.

Если же вам приходилось стоять на вершине холма, наверняка свежий деревенский воздух производил на вас такое сильное впечатление, что вы начинали делать глубокие вдохи и в конце концов расходовали почти весь альвеолярный углекислый газ. У вас начинала кружиться голова (опьянение кислородом), и приходилось сидеть, приходя в себя, фактически приостановив дыхание.

Скорость дыхания изменяется неосознанно и по причинам иным, чем ваше намеренное вмешательство в работу легких. Когда скорость химической активности организма возрастает в результате физической нагрузки — занятий спортом или подъема по лестнице — либо от чрезмерного нервного напряжения, вырабатывается и вливается в легкие больше двуокиси углерода. Дыхание автоматически становится глубоким и быстрым, у вас возникает одышка.

Если, однако, вы пребываете в тишине и в неподвижности (то есть когда факторов, раздражающих ваши органы чувств, немного или

они монотонны по своей природе), ваше дыхание становится поверхностным. Это, в свою очередь, включает процесс засыпания. При условиях, когда погружение в сон будет социально неприемлемо, желательно основательно провентилировать легкие; имеющий в этом случае место тип принудительного вдоха называется зевок. К несчастью, в обществе зевок считается скорее признаком сонливости и скуки, чем попыткой нарушить ритм поверхностного дыхания, который приводит к засыпанию, поэтому откровенный зевок так же неприемлем в обществе, как и погружение в сон. В условиях, когда вы не можете ни спать, ни зевать, попытка остаться бодрствующим может стать пыткой.

Легочная ткань эластична и при жизни находится в растянутом состоянии, поэтому ей свойственна нормальная тенденция к сокращению. При рождении легкие младенца конечно же не наполнены воздухом. В момент, когда он делает первый вдох (традиционно стимулированный шлепком по ягодицам в положении ребенка головой вниз), легкие наполняются и расширяются, прижимаясь к ребрам грудной клетки. Этот контакт опосредованный. Легкие окружены оболочкой, называемой плеврой (что

по-гречески значит «ребро»), которая прилегает к легким, затем складывается вдвое и прилегает к грудной клетке. Получается двойная оболочка (с жидкостью между двумя слоями), по которой ребра и легкие могут скользить друг относительно друга с незначительным трением. Иногда плевра воспаляется от инфекции (такое состояние называется *плеврит*), и тогда дыхание становится мучительно болезненным.

Когда грудная клетка приподнимается, диафрагма давит вниз, легкие вынуждены расширяться, даже вопреки своей тенденции к сокращению. Альтернативой двухслойной плевре могло бы быть разделение их с помощью вакуума, но подобная ситуация невообразима. (Если у вас есть присоска типа той, что находятся на концах игрушечных детских стрел, попытайтесь приставить ее к влажному кафелю стены ванной и затем оторвать, не прибегая к скольжению или отслаиванию. Сделать вам это будет нелегко, значит, большая сила требуется и для того, чтобы отделить легкие от ребер при обычных обстоятельствах.)

Во время дыхания природная эластичность легочной ткани полезна, и для выдоха требуется меньшее мышечное усилие, чем для вдоха. Если

бы воздух действительно мог попасть между ребрами и легкими, то эластичность легочной ткани обернулась бы большой опасностью. Рана в груди позволяет воздуху войти и нарушить вакуум, так что легкое сразу же спадается. Если рану закрыть, легкое будет медленно расширяться снова, поскольку воздух между легким и ребрами абсорбируется организмом.

Хирурги иногда намеренно используют такой эффект. Когда возникает необходимость дать легкому восстановиться после какой-либо болезни или хирургической операции в условиях, когда оно не будет постоянно раздражаться движениями, между легким и ребрами можно ввести воздух так, что одно легкое (конечно же не оба) спадется на некоторое время. К счастью, человеческий организм может продолжать вполне нормально существовать всего с одним действующим легким.

Движения при дыхании, к счастью, столь просты, что могут быть инициированы извне, даже когда собственный дыхательный механизм организма полностью выходит из строя. Это так называемое искусственное дыхание, приемов которого существует несколько. При некоторых легкие пострадавшего сжимаются под непосред-

ственным давлением силы, а затем им дают расслабиться, снова и снова повторяя процедуру с периодичностью 10 или 12 раз в минуту. Воздух можно вдувать в легкие пострадавшего изо рта в рот. Последнее действие, когда его необходимо поддерживать продолжительный период времени, может имитировать механический аппарат искусственного дыхания.

Глава 6
Сердце и артерии

Внутренняя жидкость

Все то, чего достигает наша сложно устроенная система органов дыхания, это проникновение молекул кислорода через границу, которая отделяет окружающую среду от тканей. Куда же кислород поступает оттуда?

У одноклеточного организма сложностей не возникает. Как только молекулы кислорода пересекают оболочку, они оказываются внутри клетки, где вещества, составляющие клеточное содержимое, набрасываются на них. Даже если мы имеем дело более чем с одной клеткой, этот процесс иногда столь же прост. Если каждая клетка в равной степени подвержена воздействию окружающей среды (обычно это океан, иногда — пресная вода), каждая получает свою порцию кислорода непосредственно с помощью диффузии. Сравнительно большие организмы могут существовать таким образом, при условии, что каждая клетка имеет собственный «океанический фронт». Это означает, однако, что такой организм может быть не более чем двумерным. Медузы и ленточные черви относятся к самым длинным животным организмам из существую-

щих, которые все еще зависят только от диффузии кислорода. Колокол (купол) медузы состоит из тонкого внешнего слоя клеток, внутри имеет неживое желеобразное вещество, в то время как ее длинные щупальца настолько тонкие, что ни одна клетка не располагается вдали от океана. Что же касается ленточных червей, по своему строению они походят на ленту, как следует из их названия: длинные и широкие, но плоские.

Для того чтобы построить трехмерную клеточную структуру, некоторые клетки должны довольствоваться тем, что будут спрятаны внутри, отрезаны от океана слоями других клеток. Как же эти внутренние клетки получают свой кислород? Они не могут полагаться на диффузию через испытывающие нехватку кислорода клетки, что лежат между источником кислорода и ними. Решение было найдено много сотен миллионов лет назад, когда некоторые примитивные червеобразные существа «отщипнули» кусочек океана, по сути дела сохранив его внутри структуры собственного организма. Таким образом появился «внутренний океанический фронт», который со временем стал гораздо более важным, чем изначальный внешний. В конце концов абсорбция кислорода из окружающей среды была

ограничена небольшим специализированным отделом тела, как я уже объяснял в предыдущей главе. Кислород диффундирует через этот отдел и попадает во внутреннюю жидкость — кровь.

Для относительно небольших и простых организмов существование крови достаточно само по себе. Она может находиться в относительно сложных разветвленных каналах таким образом, что все клетки будут рядом с жидкостью. Кислород, поступающий в кровь, будет диффундировать во все части тела, а из крови — в каждую клетку. Процесс диффузии может охватывать относительно большие расстояния, но не может осуществляться через слои кислородпоглощающих клеток. Каждая клетка должна честно получить свою долю.

Но когда организм становится больше и сложнее, простой диффузией не обойтись. Продолжительность процесса диффузии такова, что части тела, находящиеся слишком далеко от областей поглощения кислорода, могут испытывать кислородное голодание. Возникает необходимость заменить стоячую заводь, скажем, на бегущий поток, который будет активно доставлять кислород к клеткам. Тогда отпадает необходимость полагаться на слепые, беспорядочные и довольно

медлительные силы диффузии. Поток приведет в движение насос в форме полой мышцы, которая, расширяясь и сжимаясь, будет всасывать кровь, а затем с силой выбрасывать ее наружу. Этот насос — сердце. Когда кровь выталкивается из сердца под большим давлением, ткани нельзя подвергать прямому удару без повреждений. Следовательно, кровь, покидающая сердце, должна находиться в мускульных трубках (кровеносных сосудах), которые поглотят толчок и, разветвляясь, в конечном счете разнесут кровь к каждой части тела.

У некоторых форм нехордовых кровь возвращается к сердцу, просачиваясь вокруг клеток. Однако это медленный процесс, и цикл замедлен до такой степени, что для больших и сложных организмов просто неприемлем. У хордовых (и у отдельных нехордовых) кровь проходит по кровеносным сосудам повсюду, как от сердца, так и назад к нему. Кровь циркулирует по замкнутому кругу таким образом, что сердце, кровеносные сосуды и кровь составляют то, что называется системой кровообращения. (В действительности эта система не совсем замкнутая. Существует нечто вроде утечки, но об этом в следующей главе.)

Строение сердца у разных групп организмов

различное, и неудивительно, что более сложное оно у более сложных существ. Нехордовые, такие, как земляные черви, имеют замкнутую систему кровообращения, и в такой системе часть одного из кровеносных сосудов сокращающаяся. Волна циклических сокращений проходит по всей его длине, проталкивая кровь вперед. Такое простейшее сердце, всего лишь пульсирующий сосуд, также можно найти у примитивных хордовых, таких, как ланцетник. У позвоночных, однако, пульсирующий сосуд расширяется, образуя несколько полых камер. Увеличив свой объем, насос способен лучше перекачивать кровь, точно так же, как вы сможете ударить сильнее, если перед этим сделаете глубокий вдох. Увеличившемуся в объеме насосу, естественно, требуется мышечная стенка гораздо более толстая и сильная, чем стенка любого кровеносного сосуда.

У рыб сердце состоит из двух главных камер. Передняя камера — это *предсердие*, или *атриум* (от латинского «преддверие», или «прихожая», поскольку она служит входом для следующей камеры с более мускулистыми стенками). Предсердие сокращается и посылает кровь в заднюю камеру, которая называется *желудочек*. Предсердие служит своего рода хранилищем крови,

собирая ее из входящих кровеносных сосудов, а затем, выталкивая в желудочек, который под действием внезапного растягивания мышц, способствующих всасыванию крови, отвечает особенно мощным сокращением. Когда желудочек сокращается, кровь с силой выбрасывается в кровеносные сосуды, которые ведут ко всем органам организма. Кровь несет кислород, используемый клетками, между которыми она проходит так, что к тому времени, когда возвращается в предсердие, содержание в ней кислорода фактически должно быть пулевым. Но оно не нулевое, благодаря жабрам. Кровеносные сосуды подходят к жабрам и там собирают кислород. Богатая кислородом кровь из жабр смешивается с кровью, бедной кислородом, из оставшихся органов, и та кровь, которая содержится в большинстве сосудов, — это смесь того и другого — как говорится, на удивление богатая кислородом кровь.

Это вполне подходит для рыб, но ранние формы наземной жизни, обзаведясь легкими, начали отделять систему циркуляции воздуха от всего остального. Сердце амфибий имеет два предсердия. Сосуды, приносящие из легких кровь, богатую кислородом, входят в одно предсердие, а сосуды, несущие кровь из остальных органов

организма (бедную кислородом), входят в другое. Сокращающийся желудочек затем поочередно решает две задачи: посылает бедную кислородом кровь в легкие за добавочной порцией кислорода, а затем кровь, обогащенную кислородом, отправляет к остальным органам тела. Процесс смешивания двух типов крови был сокращен, но не устранен полностью.

У рептилий желудочек находится на пути разделения на две части, и этот финальный этап доведен до завершения у птиц и млекопитающих. Последние, будучи теплокровными, используют кислород с огромной скоростью, и эффективность просто не может не повышаться. У птиц и млекопитающих (включая и нас с вами, конечно) сердце четырехкамерное и состоит из двух предсердий и двух желудочков. На самом деле это двойной насос, объединенный в один орган и очень тщательно синхронизированный. Вся кровь проходит по очереди через каждый из насосов. Насос под номером один посылает ее в легкие, где она собирает кислород. Богатая кислородом кровь возвращается в насос под номером два. Она совсем не смешивается с кровью, бедной кислородом, но появляется из насоса под номером два обогащенной кислородом и несет свой

богатый запас кислорода к оставшимся органам тела. При этом она теряет кислород и по возвращении в насос номер один снова отправляется к легким. И таким образом цикл продолжается.

Но теперь давайте обратимся к человеку.

Кровообращение

Человеческое сердце — это орган конической формы, длиной около 5 дюймов и шириной 3,5 дюйма, или, грубо говоря, размером с кулак человека. Оно весит около 10 унций у взрослых мужчин и 8 унций у женщин. Располагается оно в грудной полости, сразу за грудиной и между легкими. Хотя сердце и располагается посередине, его оси симметрии не вертикальны. Острие конуса наклонено влево. Это острие высовывается из-за грудины, и именно в этом месте можно легко обнаружить биение сердца на ощупь или же его услышать. Именно это дает не искушенным в медицине людям ошибочное представление о том, что сердце находится далеко слева.

Сердце — это, по существу, большая мышца, которая по своей природе не является ни скелетной, ни висцеральной, а занимает промежуточное место между ними; поэтому его можно отнести к классу сердечных мышц. Сердечная мышца должна иметь надежность и силу сокращения скелетной мышцы. Однако в отличие от обычных полосатых мышц сердечная мышца находится полностью под непроизвольным контролем. В

этом отношении она напоминает висцеральную мышцу. Сердечная мышца отличается от скелетной мышцы также тем, что клетки, составляющие ее, не разделены, а соединены в различных местах. Такие скопления клеток называются *синцитий* (что по-гречески означает «клетки вместе»). Сердце состоит из двух синцитиев, один из которых образует два желудочка, а другой — два предсердия. Существование этих синцитиев обеспечивает действие сердечной мышцы как единого целого; и для сердца, как ни для какого другого органа, важна точная синхронизация действий.

Сердце, подобно легким, окружено многослойной оболочкой. Это *перикард* (что по-гречески значит «вокруг сердца»), присоединенный к грудине спереди и диафрагме внизу, внутренняя же его часть примыкает к сердцу. Между этими двумя оболочками находится жидкость, и когда сердце бьется, то оно сдвигается по отношению к грудине и диафрагме, а эта жидкость служит смазкой, призванной уменьшить трение.

Давайте начнем описание системы кровообращения человека с правого предсердия. По-латыни предсердие человека обычно называется auricula (в переводе — «ушко»), поскольку кажется, что

оно свисает с верхней части сердца, подобно собачьему висячему уху, хотя анатомы предпочитают термин «атриум». Кровь попадает в правое предсердие, после того как прошла через все органы тела, поэтому фактически не содержит кислорода; первая задача сердца — постараться исправить такое положение. Следовательно, запускается эффективный механизм.

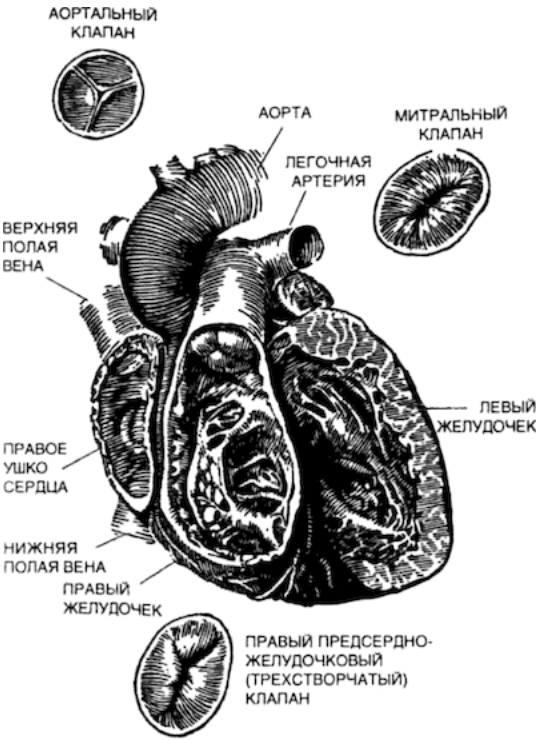
Между правым предсердием и правым желудочком находятся три маленьких выступа, или заостренных лоскутка ткани, — *створки.* Они соединены связками с маленькими папиллярными (сосковидными или прыщевидными) мышцами, прикреплениями к внутренней стороне желудочка. Эти створки складываются на этих связках в обратном направлении и не препятствуют потоку крови, продвигающемуся в направлении к ушку. Следовательно, по мере того как кровь входит в ушко, она вливается, минуя эти самые створки, также и в желудочек. К тому времени, как предсердие заполняется кровью, желудочек тоже заполнен.

Когда правое предсердие заполнено, его мышечная оболочка сокращается, и содержимое добавляется, минуя створки, к тому, что уже там находилось. Расширенные мышечные стенки

желудочка в результате этого наплыва крови начинают сокращаться особенно сильно. Когда это происходит, первая волна крови, направленная в ушко, крепко прижимает тканевые створки к отверстию, накрепко запечатывая его. Теперь кровь не может протолкнуться через створки и в другом направлении, поскольку связки крепко удерживают их, сдерживая натиск потока крови. Другими словами, кровь может проходить из предсердия в желудочек, минуя эти створки, но не наоборот. Эти створки образуют односторонний клапан, тот самый, который называют *трехстворчатым* клапаном. В сердце, как и в системе кровообращения, много других клапанов, все работают по тому же принципу, и строение всех обеспечивает ток крови только в одном направлении. Поскольку кровь из сокращающегося желудочка не может быть вытолкнута назад в предсердие, она вынуждена просачиваться через другое отверстие, имеющееся в желудочке. Через это отверстие она выливается в большой кровеносный сосуд, ведущий к легким.

Стенка правого желудочка по мускульной силе превосходит стенку правого предсердия, поскольку предсердию нужно только протиснуть кровь в соседнюю камеру, а желудочек должен заставить

ее двигаться к легким. Для этого требуется гораздо большее усилие.



СЕРДЦЕ В РАЗРЕЗЕ

Кровеносный сосуд, получающий кровь из желудочка и ведущий ее от сердца к другим органам, — это *артерия* (от греческого «воздушный канал»). Такое название было дано сосудам, потому что, как оказалось, у мертвых они пустые, и поэтому древние анатомы решили, что сосуды эти переносят воздух. Стенки артерий мускульные и эластичные. Как только кровь устремляется в артерию, мышечная стенка расширяется, чтобы вместить неожиданный наплыв крови. Как и в случае с самим желудочком, расширение следует за сокращением. В устьях артерий имеются полулунные клапаны (со створками, как следует из названия, в форме полумесяца). Они дают возможность крови войти в сосуд, но не позволяют вернуться назад. Сокращающаяся артерия может, таким образом, проталкивать кровь только в одном направлении — все дальше и дальше от сердца.

Кровь ударяется о стенки артерии, когда толчками выталкивается из желудочка, и распределяется по всей ее длине. Эти толчки можно прощупать в тех местах, где артерия проходит под кожей. Самое удобное место для измерения пульса (в переводе с латинского «биение») на запястье, под ладонью, именно там он традици-

онно и измеряется. Биение пульса конечно же синхронно совпадает с биением сердца, и в дни, когда лекарь мало что мог сделать, кроме как проверить наиболее очевидную работу органов тела, измерение пульса было важным диагностическим приемом. Теперь гораздо больше выводов о работе самого сердца можно сделать с помощью более надежных методов, чем определение пульса на ощупь, поэтому измерение пульса в наше время не столь важно.

Та самая артерия, которая принимает кровь из правого желудочка и несет ее к легким, — это *легочная артерия.* Легочная артерия разделяется на две, одно ее ответвление ведет к правому легкому, другое — к левому. Эти артерии продолжают разделяться, образуя ветви с сосудами, которые становятся все тоньше и тоньше, стенки их тоже постепенно утончаются. Самые маленькие артерии — артериолы — в конце концов разделяются на *капилляры* (что в переводе с латинского означает «подобный волосу». Они названы так из-за своей малой толщины — в действительности они гораздо тоньше волоса). Такое ветвление сосудов аналогично ветвлению бронхов на бронхиолы, а затем на альвеолы.

Стенки капилляров состоят из одного слоя плос-

ких клеток, через которые легко осуществляется диффузия небольших молекул. Капилляры, на которые разветвляются артерии, почти столь же многочисленны, как и альвеолы, на которые разделяются бронхи, и действительно, вдоль каждой альвеолы располагается участок капилляра. Молекулы кислорода, проникающие через мембрану альвеолы, также проникают через стенку капилляра и оказываются увлеченными кровотоком. Кровь, которая входит в капилляры легких, испытывая дефицит кислорода, выходит из тех же самых капилляров обогащенной кислородом.

Постепенно капилляры начинают соединяться в несколько большие сосуды, затем — в еще большие. Такие большие кровеносные сосуды, несущие кровь из органов назад к сердцу, — это *вены.* Самые маленькие из них — это *венулы.* К тому времени, когда кровь оказывается в венах, толчки сердечного насоса больше нельзя почувствовать. Они полностью гасятся при трении крови о стенки многочисленных капилляров. Следовательно, в венах кровь течет гораздо медленнее и гораздо ровнее, чем в артериях. Поэтому, если вена перерезана, кровь течет из нее обильно, но спокойно. Из пореза артерии кровь фонтанирует рывками, в унисон с биением серд-

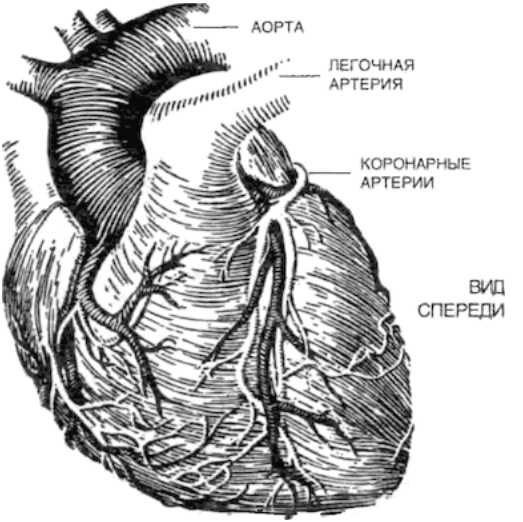
ца. Артериальное кровотечение гораздо труднее остановить, и оно гораздо опаснее, чем венозное.

Поскольку венам не приходится смягчать удар сердечных сокращений, их стенки гораздо тоньше, чем стенки артерий, и не обладают большой мускульной силой. То, что они не используют нагнетательного действия, означает, что кровь в венах продвигается вперед не под непосредственным действием сердечной деятельности. Вместо этого ее движущая сила — сжатие соседними мышцами по мере их сокращений и расслаблений в процессе нормальной деятельности. Многие из больших вен имеют несколько односторонних клапанов, расположенных по всей длине (особенно вены, которые должны нести кровь к сердцу вопреки силе гравитации), и эти клапаны позволяют крови продвигаться только в одном направлении — к сердцу.

Та вена, в которую в конце концов объединяются капилляры и венулы легких, называется *легочной веной.* Эта вена несет свежеобогащенную кислородом кровь в левое предсердие, куда она попадает через односторонний клапан. Легочная артерия и легочная вена вместе со всеми меньшими сосудами между ними составляют малый круг кровообращения.

Из левого предсердия обогащенная кислородом кровь проходит в левый желудочек через клапан, состоящий из двух, а не из трех тканевых выступов — створок. Он называется *митральным клапаном* из-за двух створок, которые, соединяясь вместе, становятся похожими на митру епископа (церемониальный головной убор). Два клапана, трехстворчатый и митральный, называются одним термином — *атриовентикулярные* (предсердножелудочковые) клапаны.

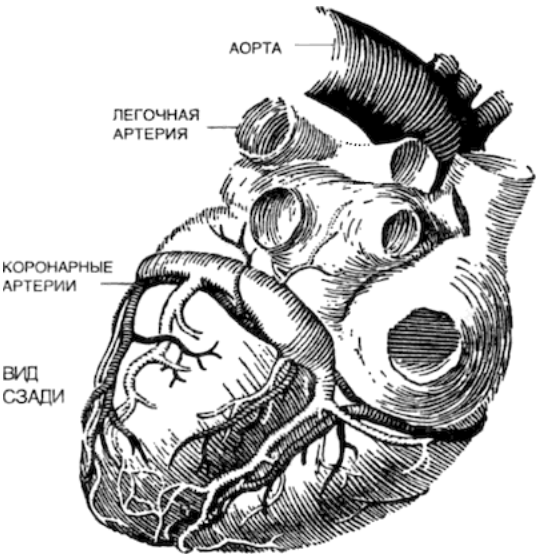
Задачей левого желудочка является доставка крови, с помощью его сокращений, ко всем частям тела, за исключением легких, о которых заботятся правый желудочек и малый круг кровообращения.



Выйдя из левого желудочка, кровь должна идти дальше через гораздо большее количество капилляров, чем кровь, покидающая правый желудочек, которой нужно добраться всего лишь к близлежащим легким. По этой причине, хотя оба желудочка при каждом сокращении перекачивают одинаковое количество крови, левый желудочек должен делать это с усилием, в шесть раз превышающим усилие правого желудочка. Тогда совсем не удивительно, что мышечная стенка левого желудочка в два раза толще стенки

правого (еще одна асимметрия сердца).

Сокращение левого желудочка проталкивает кровь через односторонний клапан в *аорту* (от греческого «подниматься», возможно, потому, что первые несколько дюймов аорты ведут прямо вверх).



Аорта — это самая большая артерия в организме, диаметром у основания чуть больше дюйма. Вначале она идет прямо вверх (восходящая аорта,

как я уже сказал), но затем изгибается дорсально (дуга аорты) и продолжает идти вниз (нисходящая аорта) как раз впереди позвоночного столба. Устремляясь вниз, аорта проходит через диафрагму.

От восходящей аорты в точке сразу за ее соединением с левым желудочком отходят две небольшие ветви, ведущие кровь назад к сердцу. Поскольку две эти артерии, подобно короне, окружают сердце, они и называются *коронарными артериями.* Может показаться удивительным, что сердце не позволяет себе насытиться непосредственно кровью, которую в себя вмещает, но это не так просто. Во-первых, только левая его половина содержит кровь богатую кислородом. Однако, как только кровь выходит из сердца, часть ее сразу же возвращается назад, и сердце питается как бы прямо из крана, до того как любой другой орган или ткань получат шанс добраться до крови. С человеческой точки зрения сердце может показаться эгоистичным, но это объяснимый эгоизм: сердцу требуется гораздо больше энергии, чем любому другому органу, и от стабильной и бесперебойной его работы зависят все остальные органы.

От дуги аорты отделяется *брахицефалическая*

артерия (по-гречески «рука-голова») и устремляется вверх. Она быстро разделяется на четыре основные ветви, что оправдывает ее название. Две из них — это *подключичные артерии*, поскольку они проходят параллельно этой кости. Подключичные артерии доставляют кровь к рукам. Между двумя подключичными артериями находятся две *сонные артерии*, по которым кровь проходит вверх по обе стороны шеи. Это название возникло из фокуса, который показывали греческие шарлатаны, — они усыпляли козу, надавливая на сонную артерию и перекрывая таким образом поступление крови к мозгу.

Нисходящая аорта густо разветвляется по мере движения вниз. В области груди находятся *бронхиальные артерии.* Они ведут к легким, но, в отличие от легочных артерий, не затем, чтобы насытиться кислородом. Они уже несут кислород и служат для того, чтобы доставить к частям легких — бронхам кислород, в котором они нуждаются, но который не могут взять непосредственно из воздуха.

Многочисленные артерии, на которые в своей нижней части благополучно разветвляется аорта, ведут к разным участкам пищеварительного тракта. В их число входят: *эзофагальные артерии*,

которые названы так, потому что ведут к пищеводу — трубке, соединяющей гортань и желудок; *брюшные артерии*, которые ведут к желудку и другим близлежащим органам; и *мезентериальные артерии*, ведущие к кишечнику.

Кроме того, имеются *межреберные артерии*, которые ведут к межреберным мышцам, и *поясничные артерии*, которые ведут к нижнему отделу позвоночника и мышцам брюшной стенки. *Диафрагмальные артерии* ведут к диафрагме, а *почечные* — к почкам, что следует из их названия. (Существуют и другие артерии, но я не буду даже и пытаться перечислить здесь их все.)

В области крестца то, что осталось от нисходящей аорты, разделяется на две общие *подвздошные артерии.* Каждая, в свою очередь, подразделяется на наружную и внутреннюю подвздошную. Две наружные подвздошные артерии питают ноги, а внутренние подвздошные несут кровь к органам таза.

Все эти разнообразные артерии разделяются на артериолы и в конечном счете на капилляры. Капилляры, в свою очередь, объединяются в венулы, а затем в вены. Обычно они возвращают кровь, проходя параллельно соответствующим им артериям, и называются как эти артерии.

Таким образом, кровь, которую несет к почкам почечная артерия, возвращается по почечной вене, кровь, которую доставляют к бедрам и нижним конечностям подвздошные артерии, возвращается по подвздошным венам; и так далее.



КРОВЕНОСНАЯ СИСТЕМА

Интересное исключение состоит в том, что кровь, несомая к шее и голове сонной артерией, возвращается по яремной вене. Яремная вена

располагается ближе к поверхности горла, чем сонная артерия (вены обычно располагаются ближе к поверхности, чем артерии, что оправдано, поскольку травма вен менее опасна), и яремная вена, следовательно, знакома среднестатистическому человеку как вена, которая перерезается, когда перерезано горло.

Кровь, возвращаясь через вены из различных органов тела (за исключением легких), попадает в самые большие вены, *полые вены*, потому что они имеют самую большую полость или диаметр отверстия. Их две. Вены, идущие от головы, шеи, плеч и предплечий, объединяются и образуют верхнюю полую вену, а вены, идущие от нижней части торса, бедер и нижних конечностей, образуют нижнюю полую вену. Обе полые вены впадают в правое предсердие, кислород из их запаса крови истощается долгим путем через различные органы. Кровь теперь вернулась к исходной точке, с которой я начал описание процесса кровообращения, и готова снова отправляться к легким за очередной порцией кислорода. Отрезок системы кровообращения, идущий через аорту к телу в общем и назад через полые вены, называется большим кругом кровообращения.

Сердцебиение

Человеческое сердце бьется со скоростью от 60 до 80 ударов в минуту (чуть быстрее одного удара в секунду) в течение всей жизни, которая может продлиться долее века. При каждом ударе сердце выбрасывает около 130 кубических сантиметров крови даже в самых спокойных условиях, поэтому за одну минуту спокойно работающее сердце перекачивает 5 литров крови. За сто лет верной службы оно совершит около 4 миллиардов ударов и перекачает 600 000 тонн крови.

Работа, совершаемая сердцем каждую минуту, эквивалентна подъему веса в 70 фунтов на высоту 1 фут от земли. Это в два раза превышает энергию, которую могут произвести сильные мышцы рук и ног; однако сердце может работать в таком темпе неопределенно долго, в то время как мышцы конечностей, достигнув меньшего, тем не менее быстро устают. Необычная способность сердечной мышцы работать столь усердно и, несмотря на это, так неутомимо вызывает особый интерес у физиологов.

Скорость биения сердца частично зависит от размера организма — чем меньше размер, тем

быстрее сердцебиение. Так, у женщин сердце бьется на 6–8 ударов быстрее, чем у мужчин. У детей сердце бьется еще быстрее, и при рождении частота ударов может достигать 130 в минуту.

Это относится и к другим млекопитающим, кроме человека. У кролика сердце бьется со скоростью 200 ударов в минуту, а крошечное сердчишко мыши трепещет со скоростью 500 ударов в минуту. Хладнокровные животные, которым требуется гораздо более низкий уровень внутренней химической активности, чем птицам и млекопитающим, существуют с медленным сердцебиением. Сердце лягушки, несмотря на ее небольшой размер, бьется всего 30 раз за минуту в теплую погоду, с падением температуры сердцебиение замедляется. При температуре близкой к нулевой скорость сердечных ударов понижается до 6–8 в минуту.

Животные, впадающие в зимнюю спячку, демонстрируют удивительное разнообразие скорости сердечных ударов. У ежа в нормальном состоянии сердце бьется со скоростью 250 ударов в минуту, по в холодную погоду он выживает за счет приостановки деятельности организма, вызванной снижением температуры тела, во время которой частота биения сердца может упасть

до 3 ударов в минуту. У животных, которые по размеру превосходят человека, сердцебиение, естественно, медленнее, чем у нас. У буйвола оно 25 ударов в минуту, у слона — 20 ударов. Сердечный ритм у данного организма будет варьироваться в зависимости от уровня его активности. Во время физических упражнений, когда потребность организма в кислороде возрастает, сердце бьется сильнее и чаще. Ускорение сердечной деятельности происходит также при нервном напряжении, страхе или радостном ожидании и волнении. Учащенное сердцебиение при таких обстоятельствах — знакомое явление.

Продолжительные физические нагрузки гипертрофируют сердце, как любую другую мышцу. По этой причине у спортсменов скорость биения сердца при отдыхе ниже, чем у мужчин, ведущих сидячий образ жизни. Сердце спортсмена может совершать не больше 50–60 ударов в минуту. Замедление сердцебиения более чем оправдано тем, что сердце, увеличенное в размерах и укрепленное с помощью физических упражнений, доставляет больше крови за один удар.

Что помогает сердцу сохранять идеальный ритм? Можно подумать, что это происходит благодаря какой-то ритмичной нервной стиму-

ляции, но это не так. Хотя сердце действительно снабжено нервами, которые могут влиять на частоту его биения, они отвечают в первую очередь совсем не за ритм. Это подтверждается тем, что сердце эмбриона в утробе матери начинает биться еще до того, как образуется нервная система, и продолжает биться у экспериментальных животных, даже если нервы перерезать. Сердечная мышца будет сокращаться даже в полной изоляции при условии, что она будет помещена в подходящую жидкость.

Сердечные клетки пропускают ионы калия, но не пропускают ионы натрия. Эти ионы представляют собой заряженные частицы, и при разнице концентрации таких частиц внутри и снаружи клетки создается электрический потенциал, который проходит через клеточную оболочку. Рост и падение этого электрического потенциала по мере того, как ионы проходят через оболочку клетки, вызывает ряд сокращений (впрочем, подробности того, как это происходит, до сих пор не совсем ясны), и ритмичность, с которой движутся ионы, отражается на ритмичности этих сокращений. Это означает, что работа сердца зависит от концентрации различных ионов в крови и что она должна контролироваться в узких пределах.

Именно с этим-то и справляется организм; да и сам человек может создать имитацию этого процесса вне организма, используя, как я сказал выше, подходящую жидкость.

Сердце, вынутое из тела, можно сохранить в действующем состоянии (живым и бьющимся), если оно перфундировано в растворе, поддерживающем нужную концентрацию разнообразных ионов. (Под перфузией подразумевается принудительное движение жидкости через кровеносные сосуды, которые в обычном состоянии питают орган.) Первым изобрел жидкость, которая оказалась эффективной для таких целей, английский врач Сидней Рингер, и она до сего времени известна как «раствор Рипгера». Биться может не только все сердце целиком, даже часть его будет сокращаться, если перфундирована надлежащим образом. Именно так было обнаружено, что различные отделы сердца сокращаются с разной скоростью. Та часть сердца, что бьется быстрее всех, однако, задает скорость остальным отделам, поскольку каждое повышение и снижение электрического потенциала передается по сердечной мышце из этой части, а остальные отделы сердца вынуждены следовать ей, не имея возможности установить собственную скорость колебаний

электрического потенциала. Поэтому та часть, что бьется быстрее остальных, называется *сердецным стимулятором*, или *водителем ритма.*

В двухкамерном сердце рыб водитель ритма находится в полой вене — sinus venosus. Это расширение на конце вены, ведущей в предсердие. Биение сердца начинается здесь и прогрессирует к предсердию и желудочку.

Полая вена сохраняется у эмбрионов птиц и млекопитающих, по исчезает при рождении. Она сливается в правое предсердие, и ее остатки все еще различимы в виде пучка особых клеток. Поскольку эти клетки представляют собой слияние полой вены и предсердия, они называются *синусоатриальный пучок*, или сокращенно пучок S-A. Именнопучок S-A является водителем ритма в человеческом сердце. Волна *флюктуации* (колебаний) электрического потенциала, которая начинается в пучке S-A, распространяется по обоим предсердиям (которые составляет единая слитая клетка, или синцитий — соклетие, как вы, вероятно, помните), так чтобы оба предсердия сокращались одновременно. В месте разделения между предсердиями и желудочками (атриовентрикулярный пучок, или пучок A-V), где заканчивается один синцитий и начинается

другой, происходит моментальная пауза. Пучок A-V, однако, вскоре подхватывает волну и направляет ее вдоль желудочков, которые тогда тоже сокращаются одновременно.

Если происходит сбой в работе пучка A-V, то биение водителя ритма пучка S-A не передается желудочку, и это состояние называется блокадой сердца. Это не означает, что желудочки прекращают сокращения. Они продолжают делать это, но только при своей собственной естественной скорости, которая составляет всего около 35 ударов в минуту. Если пучок A-V находится в рабочем состоянии, сердце может справиться с этим лучше, чем если происходит сбой в работе пучка S-A. Тогда сам пучок A-V становится водителем ритма и поддерживает сердцебиение со скоростью 40–50 ударов в минуту.

Иногда желудочек сокращается преждевременно в результате какой-либо необычной стимуляции, возможно вызываемой неким химическим агентом, присутствующим в кровотоке. (Заядлые курильщики, кажется, особенно подвержены этому.) Если такое происходит, преждевременно сократившийся желудочек не сможет сокращаться, когда нормальный импульс достигнет пучка A-V мгновение спустя. (После каждого сокра-

щения сердца или, если уж на то пошло, любой мышцы существует рефракционный период, когда она не будет сокращаться снова, даже при стимуляции.) Желудочек тогда должен выждать до следующего сокращения. Этот перерыв между сердечными ударами, более продолжительный, чем обычно, — ощущение, знакомое некоторым из нас, когда сердце «пропускает» удар. Это не опасно.

Иногда, несмотря на существование синцития, сердечная мышца не сокращается с надлежащей синхронностью. Различные тонкие волокна (*фибриллы)* могут контактировать сами по себе, и в результате стенки предсердия, к примеру, могут начать сжиматься со скоростью 10 раз в секунду. Это мерцание предсердий. Пучок A-V, к счастью, не может воспринимать сокращения с такой скоростью, и в результате общего невнимания предсердия таким образом выражают свой протест. Они вторят сокращению желудочков с собственной скоростью, чего вполне достаточно, чтобы поддерживать жизнь организма. Тем не менее вполне достаточное количество сокращений предсердий теперь действительно проходит через пучок A-V, что впоследствии придает общему сердцебиению пугающую нерегулярность.

В этом случае в качестве лечения прописывают дигиталис, действие которого угнетает проводимость пучка A-V. Желудочек тогда менее подвержен воздействию сокращений предсердия, и сердцебиение становится медленнее и регулярнее. Мерцание желудочков более опасно. Когда желудочек начинает быстро сжиматься, кровь не может нагнетаться, и быстро наступает смерть.

Поскольку сердцебиение так сильно зависит от подъема и падения электрического потенциала, неудивительно, что его ритм может нарушаться при стимуляции внешним потенциалом. Собственно говоря, то, что мы называем казнью на электрическом стуле, обычно результат мерцания (фибрилляции) желудочков, вызванного электрическим током, проходящим через тело. Переменный ток 60 герц в секунду, который обычно используется в домашнем хозяйстве, особенно эффективен для возникновения такого мерцания. (Мораль не в том, чтобы не пользоваться электричеством вовсе, скорее в том, чтобы пользоваться им с осторожностью.)

Многое можно сказать о работе сердца, используя специальное устройство, прослеживающее подъем и спад электрического потенциала и

измеряющее его прохождение по сердечной мышце. У животных это можно сделать, прикрепив электроды непосредственно к поверхности сердца. У людей, к счастью, ткани проводят электричество, и изменения потенциала, которые связаны с работой сердца, можно определить, соединив соответствующие части поверхности тела с гальванометром.

Такое устройство впервые было создано голландским физиологом В. Эйнтховеном в 1903 году. Он воспользовался очень тонкой кварцевой нитью, посеребренной, чтобы проводила ток. Даже слабые изменения потенциала вызывали заметные отклонения нити, и эти ее движения можно было сфотографировать. В результате получилась *электрокардиограмма* (что по-гречески означает «запись сердечного электричества»), это слово обычно сокращают как ЭКГ. Обычная ЭКГ состоит из пяти зубцов, обозначенных P, Q, R, S и T. Начинается она первым небольшим, направленным вверх зубцом (P), возвышающимся над базовой линией, и он представляет собой движение волны потенциала по предсердию. Прохождение через пучок A-V представлено направленным вниз зубцом Q (чуть ниже базовой линии), направленным вверх зубцом R (резкий,

заостренный подъем вверх) и направленным вниз зубцом S (несколько глубже, чем зубец Q). И наконец, зубец T, похожий на зубец P, но выше и шире, представляет собой распространение волны по желудочку. Изменения формы и длины различных волн — полезные симптомы определенных неполадок сердечной деятельности.

До того как появились электрические приборы, существовало ухо, и им до сих пор можно пользоваться, чтобы получить важную информацию. Сердце — шумный орган, как нам всем хорошо известно. Если вы приложите ухо к чьей-то груди, то услышите звуки, похожие на: «луб-дуб — луб-дуб», «луб-дуб — луб-дуб». Эти звуки возникают, когда захлопываются клапаны. Когда желудочек сокращается, трехстворчатый и митральный клапаны закрываются, издавая «луб». Когда желудочек снова расслабляется, полулунные клапаны в аорте и в легочной артерии закрываются со звуком «дуб». Так «луб-дуб» отмечают начало и конец сокращения, или *систолу* (по-гречески «сокращение»). Период времени между одним «луб-дуб» и следующим за ним — это релаксация, или *диастола* (по-гречески «расширение»).

В 1819 году французский врач Рене Лэнек воспользовался короткой деревянной трубочкой,

один конец которой приставлялся к груди в области сердца, а другой — к своему уху. Это давало возможность прослушать звуки, издаваемые сердцем, у женщин, особенно у полных, не вводя врача в смущение, ведь прежде ему приходилось прикладывать свое ухо прямо к женской груди. Это был первый стетоскоп (что по-гречески означает «осматривать грудь», название, не соответствующее действительности, поскольку это не осмотр, а прослушивание). Постепенно он превратился в современный инструмент, без которого не сможет обойтись ни один уважающий себя врач.

Ценность стетоскопа (который устроен так, что может усиливать и направлять звук) в его способности отмечать легкие отклонения звука, которые указывают на неполадки в работе клапанов. Когда из-за нарушений клапаны не могут надлежащим образом закрываться (из-за рубцов, появившихся в результате болезни, такой, как, например, ревматизм), возникает утечка крови в обратном направлении, или *регургитация.* Когда такое случается, ясный звук плотно закрывающегося клапана сменяет неясный звук, называемый шумом. Если шумом заменяется звук «луб», регургитация происходит в одном из A-V клапанов,

обычно митральном, который, как часть левого желудочка, получает гораздо больший удар. Если шумом заменяется звук «дуб», регургитация возникает в полулунных клапанах, обычно аорты, которые, опять же, получают большую нагрузку.

Не исключена возможность, что клапаны так сильно утолщаются за счет рубцовой ткани, что не могут открываться надлежащим образом. Даже при их самом большом раскрытии отверстие остается ненормально узким. Это *стеноз* (что по-гречески означает «сужение»). Кровь протекает через отверстие с увеличенной скоростью, поскольку тот же самый ее объем должен пройти через суженное отверстие за обычный период времени, его скорость должна возрастать, если она вся должна пройти через него. Кровь, пенящаяся вокруг неровной поверхности ткани рубца, также производит шум, но несколько отличающийся по уровню звука. Шум теперь слышен в момент, когда клапаны открыты, то есть перед «луб» или «дуб», указывающими на закрытие клапанов.

Неполадки в работе клапанов не обязательно фатальны и не всегда очень опасны. Они снижают эффективность работы сердца, по обычно не переходят грань, безопасную для организма.

Кроме того, сердце может компенсировать их, увеличиваясь в размерах.

Кровяное давление

Мощное сжатие левого желудочка вызывает волну крови, втекающую в аорту со скоростью 40 сантиметров в секунду. Если аорта сужается, скорость движения крови будет возрастать, поскольку тот же объем жидкости должен будет пройти через отверстие меньшего диаметра за данную единицу времени, и единственное, что можно сделать, — это увеличить скорость прохождения. Придерживаясь той же линии рассуждений, приходим к выводу, что скорость будет снижаться, если артерия расширится.

Посмотрев на аорту, проходящую по средней линии организма, вы обнаружите, что диаметр ее невелик, но она дает ответвления, в которые стекает кровь. Важна не ширина какого-либо сосуда, а суммарная площадь поперечного сечения его различных ответвлений. По мере того как аорта разделяется и подразделяется, отдельные ее ветви становятся все уже и уже, но суммарная площадь поперечного сечения постоянно возрастает. К тому времени, когда кровь проделает свой путь в артериолы, общая площадь поперечного сечения различных сосудов, через которые она

проходит, становится в 15–30 раз больше площади поперечного сечения аорты, а кровь течет со скоростью всего 2 сантиметра в секунду.

В капиллярах, которые по отдельности такие топкие, что их нельзя увидеть без микроскопа, общая площадь поперечного сечения, тем не менее, приблизительно в 750 раз превышает площадь поперечного сечения аорты, а кровь «ползет» со скоростью не более полумиллиметра в секунду. При таком медленном движении кровь капилляров в альвеолах имеет достаточно времени, чтобы насытиться кислородом, проходя по другим тканям, она имеет достаточно времени, чтобы напитать их кислородом. Когда капилляры сливаются в венулы, общая площадь поперечного сечения сосудов уменьшается, и скорость снова увеличивается. Две полые вены, взятые вместе, имеют площадь, в четыре раза превышающую площадь аорты, поэтому кровь снова входит в правое предсердие со скоростью около 10 сантиметров в секунду.

Когда кровь с силой выталкивается в аорту, она оказывает на ее стенки давление, которое называется *кровяное давление.* Это давление измеряется устройством, называемым *сфигмоманометр* (что по-гречески означает «измерять давление

пульса»), прибором, который вместе со стетоскопом, определенно, является любимцем любого практикующего врача. Сфигмоманометр состоит из плоского резинового мешка 5 дюймов шириной и 8 дюймов длиной. Он находится в манжете, которой можно туго обернуть плечо, сразу над локтем. Внутрь резинового мешка накачивается воздух с помощью небольшой резиновой груши, снабженной односторонним клапаном. По мере накачивания резинового мешка давление внутри его возрастает. Оно измеряется небольшим ртутным манометром, с которым внутренняя часть мешка соединяется с помощью второй трубки.

Когда мешок накачивается, плечо сжимается до тех пор, пока в один момент давление мешка на руку не сравняется с давлением крови. В этот момент главная артерия руки туго сдавлена, и пульсация в предплечье (где врач слушает ее с помощью стетоскопа) прекращается.

Теперь воздух выпускается из мешка, и по мере его выхода уровень ртутного манометра падает, и кровь начинает проходить через постепенно освобождающуюся артерию. Тот, кто измеряет кровяное давление, может теперь слышать первые слабые удары, и показания манометра в этот момент считаются показаниями *систолического*

давления, поскольку эти первые удары можно услышать во время систолы, когда давление крови наивысшее. По мере выхода воздуха из резинового мешка и снижения уровня ртути наступает характерная пульсация, которая служит показателем *диастолического давления*, давления, когда сердце расслабляется.

Кровяное давление, в отличие от скорости сердцебиения, примерно одинаково у всех теплокровных животных, независимо от их размера. Систолическое давление — где-то в пределах от 110 до 115 миллиметров ртутного столба, а диастолическое — около 80 миллиметров ртутного столба. (Атмосферное давление обычно 760 миллиметров ртутного столба, поэтому систолическое давление от 0,15 до 0,20 атмосферы, в то время как диастолическое давление — около 0,10 атмосферы.)

Кровяное давление не постоянный показатель. Оно изменяется с возрастом. У новорожденного младенца систолическое давление не больше 40 миллиметров ртутного столба, оно повышается до 80 миллиметров к концу первого месяца жизни, затем продолжает расти гораздо медленнее, достигая 100 миллиметров в начале подросткового возраста и 120 миллиметров в

конце подросткового возраста. В пожилом возрасте наблюдается постоянный рост давления. В возрасте 60 лет вполне нормальным считается кровяное давление, если систолическое составляет 135, а диастолическое 90. Физические нагрузки и нервное напряжение также повышают кровяное давление, что кажется логичным. Когда организму требуется больше кислорода, сердце вследствие этого бьется быстрее и сильнее, значит, и давление крови на стенки артерий будет возрастать. Систолическое давление выше 180 или 200 миллиметров ртутного столба не будет необычным или причиняющим беспокойство как временное явление.

Эластичность артерий имеет тенденцию снижать систолическое давление, поскольку, когда они выпячиваются, чтобы получить приток крови, получается больше пространства для помещения крови, и раздвинувшиеся стенки испытывают меньший толчок. Однако с возрастом артерии теряют эластичность, так как на их стенках откладываются соли кальция, иногда превращая их в преклонном возрасте в трубки, твердые, почти как кости. Это — *артериосклероз* (от греческого «затвердение артерий»). При этих условиях систолическое давление повышается, и

медленное затвердение артерий может сказаться на росте систолического давления в преклонном возрасте.

Временные изменения кровяного давления могут быть вызваны сокращением артериол, мышечная стенка которых способна совсем перекрывать эти маленькие сосуды. Эта сократительная способность артериол служит благой цели, сдвигая распределение крови так, чтобы оно отвечало изменяющимся потребностям организма. Обычно в состоянии покоя 25 процентов крови проходит через мышцы, а еще 25 процентов — через почки. Кроме того, 15 процентов проходит через область кишечника, а еще 10 процентов — через печень. Далее, 8 процентов проходит через мозг, 4 процента — через кровеносные сосуды, питающие сердце, и 13 процентов — через легкие и остальные органы тела.

При неожиданном испуге, например, важно, чтобы была обеспечена хорошая подача крови к легким, сердцу и мышцам. Область кишечника при этом может временно обойтись без нее, для медленного процесса переваривания будет достаточно времени после того, как минует критическое состояние. Посредством сжатия соответствующих артериол кишечник лишается

некоторой части крови, которая затем распределяется в более важных областях.

Более демонстративное проявление изменений распределения крови можно рассмотреть на примере кожи. Кожа хорошо снабжена кровеносными сосудами, не только для того, чтобы подпитывать свои клетки, но и для переноса тепла из внутренних частей организма к поверхности, где оно может излучаться в атмосферу. В теплые дни, особенно при влажной погоде или когда усиление мышечной активности производит больше тепла, чем обычно, сосуды кожи расслабляются. Это — *вазодилатация* (что по-латыни означает «расширение сосудов»). Тогда в коже появляется больше пространства для вмещения большей порции крови, и выделение тепла в атмосферу возрастает. В результате мы заметно краснеем в жаркий душный день или после напряженной работы или игры. Эмоциональные факторы также могут вызвать вазодилатацию сосудов кожи, поэтому мы краснеем от замешательства, смущения, стыда, а иногда и от удовольствия. Но в холодную погоду, когда необходимо сократить потерю тепла в атмосферу, кровеносные сосуды кожи сожмутся (*вазоконстрикция*), и кожа будет содержать кровь в меньшем, чем обычно, коли-

честве. Тогда мы бледнеем от холода. Эмоции способны вызывать такие же изменения цвета, на этот раз заставляя нас побледнеть от страха или шока.

Большие вены брюшной полости также могут сжиматься, чтобы вмещать меньше крови и таким образом сделать большую часть ее доступной для капилляров мышц и других ключевых органов. В первую очередь *селезенку*, коричнево-красный орган, располагающийся в левой стороне тела, сразу под желудком. Размером она с сердце, но не так компактна, весит всего 5 или 6 унций. Ее пористая структура служит хранилищем крови. Она может расширяться и вмещать целый литр крови, а при необходимости сжиматься, проталкивает всего лишь 50 миллиметров своего запаса крови в общую систему кровообращения.

Все эти приемы могут быть использованы для изменения объема крови или объема кровеносных сосудов (или того и другого) и таким образом способны изменять кровяное давление, но при нормальных условиях рост кровяного давления — явление временное и предназначается только для удовлетворения временной необходимости. Однако иногда кровяное давление повышается

и остается высоким более или менее постоянно. Систолическое давление может достигать 300 миллиметров ртутного столба, диастолическое — 150, обе величины, грубо говоря, вдвое превышают норму. Это — *гипертензия* (от греческого «растягиваться»), или, говоря простым языком, повышенное кровяное давление. Такое состояние опасно по многим причинам. Оно дает непривычную нагрузку сердцу и артериям, способствуя дегенеративным изменениям в их структуре. Небольшие артерии, поврежденные постоянным высоким давлением на стенки, могут подвергнуться необычному затвердеванию и утратить способность приспосабливаться к высокому давлению, а то и разорваться.

Разрыв артерии в мозгу — это чрезвычайно серьезное явление, поскольку при поражении значительной части мозга результатом может быть паралич или смерть. Несчастная жертва действительно бывает поражена быстро и без предупреждения, поэтому это состояние называется ударом, *апоплексией* (от греческого «сразить, свалить с ног»), или кровоизлиянием в мозг. Естественно, это чаще происходит в моменты, когда возбуждение или перенапряжение повышают кровяное давление гораздо выше обычного

уровня.

Иногда гипертензию вызывают неисправности в механизме, с помощью которого почки контролируют кровяное давление. В этом случае врачи говорят о *почечной гипертензии.* Зачастую причина ее неизвестна, и тогда ее называют *эссенциальной гипертепзией*; одно из значений слова «эссенциальный» в медицинском словаре — «без известной причины». Синонимом к слову «эссенциальный» в этом смысле будет слово «идиопатический» (от греческого «индивидуальное недомогание»), то есть недомогание, которому нельзя дать общее определение.

Артерии не дегенерируют с возрастом, только затвердевают в результате отложений солей кальция. Еще одно изменение, которое может произойти в среднем возрасте и которое в равной степени катастрофично, — это отложение определенных компонентов жиров на внутренней поверхности артерий. Изначально гладкая внутренняя поверхность стенок становится грубой из-за таких отложений и принимает неправильную форму, которая показалась некоторым исследователям похожей на хлопья вареной овсяной каши. Поэтому это заболевание названо *атеросклерозом* (что по-гречески значит «каши-

неподобное затвердевание»).

Пораженная атеросклерозом артерия опасна по двум причинам. Во-первых, грубая внутренняя поверхность может повредить небольшие тельца крови, функция которых заключается в том, чтобы вызывать ее свертывание. Следовательно, всегда есть вероятность, что в такой артерии будут образовываться сгустки крови. Сгусток может либо рассосаться без последствий после образования, либо перемещаться с кровотоком до тех пор, пока не дойдет до артерии, слишком маленькой, чтобы пройти через нее, — в этом случае он может закупорить сосуд и остановить кровоток в этом месте. Это — *тромбоз* (от греческого слова «сгусток»). Тромбоз в артериоле головного мозга столь же опасен, как и разрыв сосуда, — может вызвать паралич. Также атеросклеротические отложения сужают просвет артерии, иногда до угрожающих пределов, а также уменьшают ее эластичность. По той и другой причине давление в такой артерии повышается, и кровоснабжение затрудняется.

Коронарные артерии особенно уязвимы при таких изменениях. И это не потому, что коронарные артерии необычайно слабые, а потому, что потребности сердца ненормально высокие,

настолько, что грань безопасности сужается.

В то время как большинство органов при обычных условиях используют всего $^1/_5$ объема кислорода, несомого через них кровью, сердце использует $^4/_5$ доступного объема. Другой орган, возможно, и может обойтись меньшей подачей кислорода без особых затруднений, сердце же — не может.

Когда суженная коронарная артерия не способна переносить достаточный объем крови, возникает острая боль в груди. Она может чувствоваться также в местах, удаленных от действительно пораженного органа (отраженная, реперкуссионная боль), — чаще в левом плече и руке. Такое состояние называется *грудная жаба.* Обычно приступ грудной жабы случается во время работы или в моменты эмоционального напряжения, когда пульс возрастает, а потребность сердца в крови становится явно больше, чем в состоянии доставить суженные коронарные сосуды. Лекарства, такие, как нитроглицерин, иногда используются в этих случаях, поскольку их действие заключается в инициации общей релаксации (расслабления) артерий, что увеличивает подачу крови к сердцу.

В месте, где тромб блокирует одно из ответвле-

ний коронарной артерии, возникает *коронарный тромбоз* (знакомый всем инфаркт). Он может быстро привести к смерти, но, если заблокированная артерия достаточно мала, отмирает лишь часть сердца, непосредственно питаемая этой артерией. В этом месте образуется зарубцевавшаяся ткань, которая сама по себе не будет угрожать жизни человека, конечно, если условия, вызвавшие тромбоз, исчезнут и не вызовут тромбоз снова, на этот раз более серьезный.

Сосуды иногда становятся ненормально расширенными из-за повреждений стенок. Поврежденное место впоследствии заживляется в растянутом состоянии, вызванном биением крови под высоким давлением. Стенка навсегда остается слабой, выпячивающейся с каждым ударом сердца. Это — *аневризма* аорты (от греческого слова «широкий»). Опасность заключается в том, что аорта может просто разорваться после какого-нибудь слишком сильного сердечного удара, последствием которого станет смерть.

Вены также могут стать слишком расширенными. При этом повреждающим фактором будет не кровяное давление, которое в венах сравнительно низкое, а сила гравитации. Кровь, возвращающаяся из нижних конечностей в

сердце, должна преодолевать силу гравитации, когда человек стоит или сидит. Это движение, преодолевающее силу гравитации, осуществляется обычным мускульным действием, которое подгоняет кровь в сосудах в направлении сердца, благодаря односторонним клапанам в венах нижних конечностей. Если случайно возникнет повреждение таких клапанов или они перестанут работать, возникнет серьезное препятствие возврату крови. Кровь собирается в венах, которые раздуваются так, что их диаметр становится в четыре-пять раз больше, и результат — варикозное расширение вен. Такое состояние, естественно, отягощается, если человек ведет малоподвижный образ жизни или ему приходится много времени проводить на ногах.

Разнообразные неполадки в кровеносной системе, которые я перечислил в этой главе, в наши дни приобретают особое значение. В последние десятилетия, когда многие инфекционные заболевания, которые когда-то были смертельным бедствием человечества, излечиваются, различные сбои в системе кровообращения стали основными причинами смерти. Почти миллион людей в год умирает от каких-либо нарушений в сердце или сосудах, а это составляет около 55

процентов всех смертных случаев нации.

Глава 7
Кровь

Жидкая ткань

Важность сердца и кровеносных сосудов не столько в них самих, сколько в том, что они транспортируют, потому что весь их сложный механизм предназначен лишь для того, чтобы удостовериться, что каждая часть тела надлежащим образом омывается потоком крови. Общее количество крови в человеческом организме значительно. Было определено, что кровь составляет приблизительно $^{1}/_{14}$ веса всего тела. Мужчины в этом отношении превосходят женщин: у среднего мужчины около 79 миллилитров крови приходится на каждый килограмм веса тела, а соответствующая цифра для женщины — всего 65. Следовательно, у мужчины среднего размера имеется около 5,5 литра крови; у среднего размера женщины будет 3,25 литра крови.

Очевидно, самое необычное для крови то, что она — жидкость, в то время как остальные ткани организма твердые или полутвердые. И все-таки это не означает, что кровь необычно жидкая. Само тело как единое целое приблизительно на 60 процентов состоит из воды. Принимая во внимание, что жизнь началась в океане, это

неудивительно. На суше, как и в море, химические реакции в клетках происходят сейчас на фоне воды, точно так же, как они происходили, когда первые живые молекулярные соединения появились в океане. Если и удивляться, то только лишь тому, что живые существа на суше смогли сэкономить на воде до такой степени, что обходятся всего 60 процентами. У некоторых нехордовых океанских животных содержание воды доходит до 99 процентов.

Одним из факторов, с помощью которых поддерживается содержание воды на столь низком уровне, является то, что определенные относительно неактивные ткани могут позволить себе быть до известной степени сухими. Жировые запасы организма, например, всего на 20 процентов состоят из воды, в то время как кость, в которой отсутствует костный мозг, — только на 25 процентов. Если рассматривать исключительно мягкие ткани тела — те самые, в которых активно происходят химические процессы организма, — содержание воды в них доходит до 70–80 процентов. Печень, к примеру, на 70 процентов состоит из воды, а мышцы — на 75 процентов.

Кровь на 80 процентов состоит из воды, но эта сравнительно большая цифра не является при-

чиной ее жидкого состояния, потому что почка твердый орган, но тоже на 80 процентов состоит из воды. Самая богатая водой ткань нашего организма — это серое вещество головного мозга, которое, хотя и не является жидкостью, на 85 процентов состоит из воды. Вопрос заключается в следующем: если кровь — это жидкость, то почему содержание воды в ней ниже, чем в сером веществе головного мозга, и почти столь же низкое, как в мышцах? Ответ состоит в том, что, хотя кровь, возможно, и возникла целую вечность тому назад в качестве ограниченной части океана, ее современный состав в результате множества комплексных эволюционных изменений стал гораздо более сложным, чем сегодняшний состав океана или тот, каким он когда-либо был.

Но наверняка осталось важное сходство между кровью и океаном. Кровь содержит те же ионы, что и океан, и приблизительно в тех же количествах. Как и в океане, самыми важными ионами крови являются ионы натрия и хлора. Это придает крови (и морской воде тоже) ее соленый вкус.

Однако, кроме неорганических ионов, кровь содержит органические составляющие, сложные углеродсодержашие молекулы, образуемые организмом, такие, как глюкоза (разновидность

сахара), и большое разнообразие углеводов. Более того, в крови содержатся объекты размером с клетку. Некоторые из них действительно настоящие клетки. Другие — нет, они меньше средней клетки по размеру, и у них нет ядер.

Тем не менее эти последние объекты по размеру гораздо больше, чем любая молекула, и отделены от действительно жидкой части крови оболочками (*мембранами*). Эти клетки и субклетки вместе составляют *форменные элементы* крови.

Именно эти самые форменные элементы и придают крови вязкость. Если бы форменные элементы несколько набухали и прилипали бы друг к другу, подобно тому как это делают клетки других тканей, кровь была бы полутвердым веществом, таким, как мозг, почки и мышцы. Именно потому, что форменные элементы не прилипают друг к другу, а плавают по отдельности в крови, кровь и остается жидкой. Форменные элементы достаточно велики, чтобы легко осаждаться под действием центробежной силы. Специальные градуированные пробирки заполняют кровью (куда добавляют небольшое количество химического вещества, чтобы предотвратить свертывание) и подвергают вращению в центрифуге со скоростью 50 оборотов в секунду. При

этом форменные элементы осаждаются на дно пробирки и там концентрируются.

Таким образом, кровь разделяется на две части: водянистую часть, называемую *плазмой крови*, и форменные элементы. Кровь саму по себе, состоящую как из плазмы, так и из форменных элементов, иногда называют цельной кровью, чтобы подчеркнуть тот факт, что имеют в виду все ее компоненты, вместе взятые. Кровяная плазма — желтоватая жидкость, на 92 процента состоящая из воды. В этой жидкости плавают форменные элементы. При нормальных условиях плазма составляет приблизительно 55 процентов от объема цельной крови. Форменные элементы составляют остальные 45 процентов, такое процентное соотношение — это *гематокритное число* («гематокрит» по-гречески означает «разделять кровь»).

Кровь выполняет множество функций, и наиболее важная из них — транспортировка кислорода. Когда простые организмы впервые воспользовались внутренней жидкостью для омывания внутренних клеток организма растворенным кислородом и другими веществами, оставалась серьезная проблема. Вода растворяет не так уж много кислорода. Литр ледяной воды способен

растворить всего 14 миллиграммов кислорода воздуха, и растворяющая способность воды снижается по мере возрастания температуры. При температуре человеческой крови литр воды будет растворять всего 7 миллиграммов кислорода из воздуха. Для простых организмов, состоящих из одной клетки или из небольшой группы клеток, такая низкая способность воды растворять кислород, тем не менее, достаточна из-за огромного объема океана. Подача кислорода фактически неограниченна, когда подумаешь о том, что кубическая миля океанской воды содержит до 60 000 тони растворенного кислорода и что в океане таких кубических милей воды миллионы.

Ситуация радикально меняется, когда речь заходит не об отдельных клетках и даже не о небольшом конгломерате клеток, плавающих в этих кубических милях, а о миллиардах и миллиардах клеток, зависящих от очень ограниченного количества внутренней жидкости. Если наша кровь переносит кислород только посредством растворения этого газа в воде, которая в ней содержится, она никогда не сможет перенести больше чем приблизительно 30 миллиграммов кислорода. Это чуть более четырехсекундного запаса минимальной потребности нашего организма, а

на столь незначительной границе безопасности ни один сложный организм существовать не может. Некоторые небольшие насекомые живут только за счет кислорода, растворенного в их собственной воде, но мы на такое не способны. Один лишь тот факт, что мы можем задержать дыхание на минуту или две без каких-либо пагубных последствий, — достаточное доказательство тому, что наша кровь переносит кислород с помощью какого-то более эффективного способа, чем просто растворение.

Чтобы разрешить эту проблему, мы и все другие порядочного размера многоклеточные организмы используют соединения, более или менее сложные, способные образовывать свободные связи с молекулами кислорода. В жабрах или легких эти соединения вступают во взаимодействие с кислородом, за счет этого в определенном объеме крови может удерживаться гораздо больше кислорода, чем при простом растворении. В тканях слабые связи этих соединений с кислородом разрушаются, и кислород проникает в клетки. Эти кислороднесущие соединения обычно окрашены, хотя цвет не имеет непосредственной связи с проблемой транспортировки кислорода, поэтому обычно о них говорят как

о *дыхательных пигментах.* Эти пигменты по своей природе белки, а следовательно, состоят из больших и сложных молекул, составленных из тысяч, а иногда и сотен тысяч атомов углерода, водорода, кислорода и азота. Кроме того, в каждой молекуле почти неизменно содержится один или более атом какого-нибудь металла. По большей мере металлом обычно бывает железо, но многие ракообразные и моллюски пользуются дыхательным пигментом, содержащим медь. Этим медьсодержащим соединением является *гемоцианин* (что по-гречески «голубая кровь»), а поскольку это соединение голубого цвета, животные, использующие его, действительно имеют голубую кровь. Самые примитивные хордовые оболочечники имеют дыхательный пигмент, содержащий ванадий, а у некоторых моллюсков дыхательный пигмент содержит марганец, но это исключения.

Дыхательный пигмент человека и всех позвоночных животных содержит железо и называется *гемоглобин* (почему — я объясню потом). Повсюду в животном мире существует множество других железосодержащих дыхательных пигментов, но ни один не столь эффективен, как гемоглобин. Тем не менее наличие такого соединения прису-

ще не только позвоночным. Даже земляной червь в этом отношении доводится нам родственником, поскольку и у него имеется гемоглобин.

Молекула гемоглобина содержит приблизительно 10 000 атомов и имеет молекулярный вес 67 000 (то есть ее молекулярный вес в 67 000 раз больше, чем у одного атома водорода, легчайшего из всех атомов). Большая часть молекулы гемоглобина состоит из *аминокислот*, относительно небольших соединений, присутствующих в структуре всех белков. Однако каждая молекула также содержит четыре группы атомов, которые по природе своей совсем не аминокислоты. Эти группы содержат атомы, выстроенные в большой круг, составленный из четырех меньших кругов (очень стабильная структура, особенно в данном случае), а в самом центре находится атом железа.

Содержащую железо часть можно выделить из молекулы гемоглобина. Она называется *гея*, поэтому можно сказать, что в каждой молекуле гемоглобина имеется четыре гемовые группы.



Так, у некоторых нехордовых животных дыхательный пигмент растворен в плазме. То же самое и в случае гемоцианина и некоторых других железосодержащих пигментов. Однако те живые существа, у которых имеется гемоглобин, всегда сохраняют пигмент в маленьких контейнерах. Это, конечно, относится и к нам самим, и эти гемоглобиновые контейнеры по большей мере являются самыми многочисленными из тех форменных элементов, о которых я говорил раньше.

Эритроциты

Гемоглобин в одной из форм представляет собой ярко-красное соединение и придает этот цвет своему контейнеру — *эритроциту* (что по-гречески означает «красная клетка»). Именно этот форменный элемент часто в обиходе называют красные кровяные тельца или просто красные клетки. Разумеется, отдельный эритроцит вовсе не красный, а скорее желтоватый. Однако при скоплении эритроцитов цвет действительно сгущается до красного, придавая крови знакомый всем нам цвет.

Возникает вопрос, а можно ли называть эритроцит клеткой, ведь он не содержит ядра. Поэтому-то его часто называют красным кровяным тельцем. Эритроцит меньше обычной средней клетки и в диаметре составляет 7,2 микрометра. Более того, он дискообразный, толщиной всего в 2,2 микрометра. Он тоньше в центре, поэтому его можно описать как двояковогнутый диск. Это утоньшение позволяет разместить гемоглобин эритроцита ближе к поверхности и усиливает утилизацию кислорода.

Когда эритроциты впервые изучали под мик-

роскопом, эти инструменты не были достаточно точными, чтобы правильно показать форму. Эритроциты казались крошечными сферами на грани видимости и были названы *глобулы.* Белки, полученные из них, были, следовательно, названы *глобулины*, или *глобины*, и именно этому недоразумению мы обязаны возникновением слова *гемоглобин.*

Если эритроцит не является клеткой в полном смысле слова, он, по крайней мере, начинает жизнь как обычная клетка. Изначально он образуется в костном мозге черепа, ребер и позвоночника, а у детей также и в костном мозге на конце длинных (трубчатых) костей руки и ног. Процесс образования эритроцитов называется *эритропоэз* (от греческого слова «поэзис» — выработка). То, что позднее станет эритроцитом, вначале было обыкновенной, довольно большой клеткой, оснащенной ядром, но не содержащей гемоглобина. На ранней стадии это еще *мегалобласт* (что по-гречески означает «большой бутон»), так сказать бутон, из которого в конечном счете расцветет эритроцит. Мегалобласт получает гемоглобин и становится *эритробластом* (по-гречески «красный бутон»). Затем, по мере деления, он уменьшается в размерах и стано-

вится *нормоблистом* (по-гречески «нормальный бутон»), поскольку теперь обретает нормальный размер эритроцита. Но на этой стадии он все еще имеет ядро и все еще является обычной клеткой.

На следующей стадии он теряет ядро и становится *ретикулоцитом* (что по-гречески значит «сетчатая клетка»), потому что при надлежащей окраске на его поверхности проявляется замысловатый сетчатый рисунок. Ретикулоцит выбрасывается в кровоток и через несколько часов становится вполне сформировавшимся эритроцитом. В крови здорового человека одна клетка из каждых двухсот находится на стадии свежеобразованного регикулоцита. В случаях, когда по какой-либо причине желательно стимулировать образование эритроцитов, первым признаком того, что лечение удачно, является рост соотношения ретикулоцитов в крови. Это — ретикулоцитный ответ.

В процессе эритропоэза образуется почти невероятное количество эритроцитов. Одна только капля крови содержит приблизительно 50 кубических миллиметров, а в каждом кубическом миллиметре мужской крови в среднем содержится 5,4 миллиона эритроцитов. Соответствующая цифра для женской крови чуть меньше

— 4,8 миллиона[10]. Это означает, что среднестатистический мужчина будет иметь около 25 триллионов эритроцитов, а среднестатистическая женщина — 17 триллионов.

Как только эритроцит достигает стадии, на которой теряет свое ядро, он больше не может расти и делиться. Может только продолжать вести собственную жизнь, причем не такую уж долгую — его жизнь, состоящая в проталкивании по кровеносным сосудам и особенно в протискивании через капилляры, весьма напряженная. Средняя продолжительность жизни эритроцита — 125 дней. Остатки разрушенных эритроцитов, достигших конца своей полезной жизни, можно увидеть под микроскопом в виде *гемоконии*, или кровяных пылинок. Они фильтруются в селезенке и поглощаются там большими клетками-«уборщиками», называемыми *макрофагами* (что по-гречески значит «большие любители

[10] Примечания: 10

Хотя среднестатистическая женщина имеет меньше крови в соотношении с весом, чем среднестатистический мужчина, и хотя ее кровь менее богата эритроцитами, это отнюдь не делает ее слабым полом. Правда, около ста лет назад средняя продолжительность жизни женщин была меньше, чем у мужчин, из-за смертельной опасности, которая грозила ей при родах. Но с введением приемов антисептики при родах такая опасность по большей части миновала, и теперь оказалось, что средняя продолжительность жизни женщин от трех до семи лет больше, чем у мужчин.

поесть»).

В среднем $^{1}/_{25}$ всех наших эритроцитов погибает ежедневно, или 2,3 миллиона ежесекундно. К счастью, организм прекрасно приспособлен к тому, чтобы непрерывно образовывать новые эритроциты с одинаковой скоростью на протяжении всей жизни, а если потребуется, то и с гораздо большей скоростью. Один из способов стимулировать эритропоэз — заставить кровь постоянно испытывать недостаток кислорода. Такое случается на больших высотах, где воздух разряжен. При таких обстоятельствах образуется больше эритроцитов, и у людей, живущих высоко над уровнем моря, количество эритроцитов может составлять 8 миллионов на кубический миллиметр.

В крупных кровеносных сосудах эритроциты имеют тенденцию складываться друг с другом плоской стороной. Этот процесс называется образованием «монетных столбиков», но более наглядно мы можем представить его себе в виде стопки блинов. Кровь течет по крупным сосудам гораздо свободней, когда эритроциты аккуратно сложены таким образом. Однако образование «монетных столбиков» невозможно в капиллярах, диаметр которых едва ли больше самих

эритроцитов. Эритроциты вынуждены ползти по капиллярам по одному, медленно проталкиваясь через узкие отверстия, подобно человеку, осторожно передвигающемуся по узкому и низкому туннелю на четвереньках. Это не так уж и плохо, поскольку дает им достаточно времени, чтобы запастись кислородом или отдать его.

Один эритроцит содержит около 270 миллионов молекул гемоглобина, а каждая молекула имеет четыре группы гемов. Каждая группа обладает способностью прикреплять к себе одну молекулу кислорода. Следовательно, эритроцит, который входит в капилляры легких без кислорода, выходит нагруженный более чем миллиардом молекул кислорода. Вода такого же объема может с помощью простого растворения нести не более $^{1}/_{70}$ этого количества. Наличие гемоглобина, таким образом, повышает эффективность кровотока как переносчика кислорода в 70 раз. Вместо того чтобы иметь 4,5-секундный резервный запас кислорода в нашем кровотоке, мы имеем 5-минутный запас. Однако это не так уж и много, и нескольких минут пребывания без кислорода достаточно, чтобы мы задохнулись, но, по крайней мере, это дает нам достаточный запас надежности для продолжения жизни.

Когда кислород проникает через тройной барьер (альвеолярную мембрану, стенку капилляра и оболочку эритроцита) и прикрепляется к молекуле гемоглобина, образуется новое соединение — *оксигемоглобин.* Именно оксигемоглобин имеет тот ярко-красный цвет, который мы считаем цветом крови. Гемоглобин, не обогащенный кислородом, синевато-алого цвета. По мере того как кровь проходит по большому кругу кровообращения и теряет кислород, ее цвет постепенно темнеет, до тех пор пока в венах не становится совсем синим. Вы можете видеть этот синий цвет вен на тыльной стороне своей руки, на внутренней стороне запястья и в любом другом месте, где вены близко подходят к поверхности тела, если только кожа у вас достаточно светлая. У людей со смуглой кожей цвет оказывается зеленоватый, потому что вы видите вены через слой кожи, который может содержать небольшое количество желтоватого пигмента. Тем не менее не у многих из нас этот синий или зеленый цвет ассоциируется с кровью, потому что кровь, которую мы видим при кровотечении, всегда ярко-красная. Даже если мы перережем вену и позволим темной крови хлынуть наружу, она впитает кислород, как только войдет в контакт с воздухом, и станет

темно-красной.

Ярко-красная, обогащенная кислородом кровь называется артериальной, поскольку она находится в аорте и других артериях большого круга кровообращения. Темная, бедная кислородом кровь называется венозной, поскольку она находится в венах большого круга кровообращения. Эта терминология не совсем соответствует действительности, поскольку в малом круге кровообращения ситуация конечно же противоположная. Легочная артерия транспортирует не обогащенную кислородом кровь к легким и, значит, несет венозную кровь, несмотря на то что она артерия. Что же касается легочной вены, то она поставляет организму свежайшую артериальную кровь.

Анемия

Любой дефицит эритроцитов или гемоглобина (либо того и другого) конечно же серьезная угроза жизнедеятельности организма. Такое состояние называется *анемия* (что по-гречески значит «нет крови», что несколько преувеличивает серьезность такого состояния). При острой анемии количество эритроцитов может упасть до $^1/_3$ от нормы, а количество гемоглобина — до $^1/_{10}$. У больного анемией эффективность транспортировки кислорода снижается и, соответственно, снижается количество энергии, годной для использования. Следовательно, одним из самых заметных симптомов анемии, кроме бледности, является еще и быстрая утомляемость.

Самая непосредственная причина анемии — это потеря крови через рану, при несчастном случае или из-за болезни. Такая потеря крови — это *геморрагия* (что по-гречески означает «поток крови»), или кровотечение. Кроме очевидной внешней потери крови в результате порезов, ран и царапин, существует еще возможность внутренней геморрагии в результате физического воздействия либо болезни, такой, как

кровоточащая язва, например. Кровотечению не обязательно быть интенсивным. Небольшое, но хроническое кровотечение, вроде того, что возникает при туберкулезе легких, может также вызвать анемию.

Опасность интенсивного кровотечения двоякая. Во-первых, происходит потеря жидкости, а во-вторых — пропорциональная потеря каждого из химических компонентов этой жидкости (из которых наиболее важен, почти в той же степени, что и сама вода, гемоглобин). У организма есть несколько приемов восполнения приемлемой потери жидкости. Артериолы сжимаются, снижая емкость системы кровообращения так, что уменьшенное количество жидкости, остающейся в организме, несмотря ни на что, поддерживается почти нормальным, насколько это возможно. (Нормальное давление гораздо важнее, чем нормальный объем.) Селезенка также сжимается, добавляя свой резервный запас крови в общий кровоток. Жидкость извлекается из тканей вне системы кровообращения и добавляется к крови, больной также восполняет потери жидкости при помощи питья.

Когда потери не слишком велики, вода достаточно быстро восполняется, но для восстановле-

ния некоторых веществ, растворенных в плазме, особенно сложных белковых молекул, требуется гораздо более продолжительное время. Эритроциты заменяются медленнее всего, поэтому есть так называемый период постгеморрагической анемии. Он может длиться от 6 до 8 недель после потери примерно полулитра крови, но это не очень серьезно. Организм имеет резервы, и временная анемия слабой степени не станет особой помехой нормальной жизни. Таким образом, человек может сдать пол литра крови без всякого последующего дискомфорта, о котором стоило бы говорить, конечно, если он вполне здоров.

Чем больше потеря крови, тем, соответственно, положение серьезнее. Если потеря крови составляет более 40 процентов, то организм не может восстановить необходимое количество крови достаточно быстро. В этом случае следует перелить кровь непосредственно в кровоток больного. Кровь можно взять из запасов банка крови или от донора, а процесс называется *гемотрансфузия*, или переливание крови.

К несчастью, переливать кровь от любого случайно взятого человека любому другому нельзя. Человеческая кровь бывает четырех основных групп, которые обозначаются 0, A, B и AB. Эрит-

роциты человека с кровью группы А содержат субстанцию, которую мы можем назвать «А», в то время как кровь человека с группой В содержит субстанцию, которую мы можем назвать «В». Человек с группой крови АВ имеет эритроциты, содержащие как «А», так и «В» субстанции, в то время как человек с нулевой группой крови имеет эритроциты, не содержащие ни «А», ни «В» субстанции.

Эти группы численно не равны. В Соединенных Штатах, например, из каждых 18 человек 8 имеют кровь нулевой группы, а 7 — кровь группы А. Только 2 имеют группу В, и всего 1 — группу АВ.

Так случилось, что плазма крови может содержать вещества, способные вступать в реакцию с веществами «А» или «В», отчего эритроциты, содержащие соответствующие субстанции, будут *агрегировать*, или *агглютинировать* (от латинского «склеиваться вместе»). Мы можем назвать субстанции, вызывающие агглютинацию эритроцитов группы А, «анти-А», а субстанцию, вызывающую агглютинацию эритроцитов группы В, — «анти-В». Человек с группой крови А, с «А» в своих эритроцитах неизбежно будет иметь субстанцию «анти-В» в плазме своей крови. Естественно, он не может иметь «анти-А», поскольку

это вызвало бы агглютинацию его собственных эритроцитов, что привело бы к смерти.

Точно так же человек с группой крови В имеет в своей плазме «анти-А». Человек с кровью группы В, в эритроцитах плазмы которого содержатся как «А», так и «В», не может иметь ни «анти-А», ни «анти-В»; человек с кровью нулевой группы, в эритроцитах плазмы которого нет ни «А», ни «В», будет иметь и «анти-А» и «анти-В».

Эту ситуацию, вне всяких сомнений, может прояснить эта краткая таблица.

Група кровим	Эритроциты	Плазма
0	–	«анти-А», «анти-В»
А	А	«анти-В»
В	В	«анти-А»
АВ	А, В	–

В идеале при переливании крови следует иметь как донора, так и реципиента с одной и той же группой крови. Предположим, случилось так, что у донора и реципиента группы крови разные. Допустим, кровь взяли у В-донора и перелили А-реципиенту. Есть два варианта агглютинации. Первый: у В-донора в плазме крови содержатся «анти-А». Эти «анти-А» вызывают агглютинацию эритроцитов А-реципиента. Это, однако, обычно

не очень важно. Количество «анти-А» в плазме переливаемой крови не слишком велико, а то, что присутствует, быстро разжижается несколько большим количеством крови в собственном организме реципиента. Однако второй вариант гораздо серьезнее. У А-реципиента в плазме имеются «анти-В». Эритроциты в крови В-донора сами уже агглютинированы из-за большого количества «анти-В» в крови, переливаемой больному. Тогда то, что получает этот больной, в действительности совсем не кровь, а порция слипшихся эритроцитов, которые блокируют его кровеносные сосуды, часто с фатальным исходом.

Важной мерой предосторожности является предотвращение попадания эритроцитов, которые будут агглютинировать под действием плазмы реципиента. Для примера возьмем больного с группой крови А, у которого в плазме имеются «анти-В». Следовательно, он не должен получить эритроциты, содержащие субстанцию «В». Это исключает доноров с кровью группы В или АВ. Но это не исключает доноров с кровью группы А или с нулевой группой. Вы сами можете проследить, придерживаясь таких же рассуждений, что больной с группой крови В может получить кровь от донора с группой крови

либо B, либо с пулевой, но никак не от доноров с группами крови A или AB. Фактически нетрудно составить следующую табличку.

Больной	Возможный донор
0	0
A	A, 0
B	B, 0
AB	AB, A, B, 0

Как вы можете видеть, донор с нулевой группой крови подходит любому больному, поэтому его называют универсальным донором. (В действительности же какой-нибудь донор с группой A может вполне иметь достаточно «анти-A» или «анти-B» в своей плазме, чтобы вызвать осложнения у больных с группами A, B или AB. Безопасней всего использовать донора с кровью той же группы, что и у больного.)

Когда происходит большая кровопотеря, потеря жидкости более опасна, чем потеря эритроцитов. Потеря жидкости может быть достаточно большой, чтобы, несмотря на все компенсаторные механизмы организма, образовалась нехватка жидкости для поддержания нормального кровяного давления, а это грозит гораздо большей сиюминутной опасностью, чем постгеморраги-

ческая анемия.

В этом случае следует безотлагательно произвести переливание крови, а если ее негде взять, то плазмы. Кровяное давление окажется в норме, а с анемией можно будет справиться позже.

В использовании одной только плазмы есть свои преимущества. Плазма хранится лучше, чем цельная кровь. Ее можно даже заморозить или высушить в вакууме до порошка и хранить неограниченное время, а при необходимости достаточно лишь добавить стерильную дистиллированную воду. В плазме нет никаких красных кровяных телец, поэтому нет причин волноваться относительно группы крови.

Даже если нет потери самой крови, организм может в недостаточном количестве вырабатывать какой-нибудь основной компонент системы оксигенации. В этом случае он переживает ту же утомляемость и нетрудоспособность (если не падение кровяного давления), которые могут возникать из-за кровотечения. Наиболее очевидным вызывающим анемию сбоем химических механизмов организма является состояние, когда организм не вырабатывает гемоглобин, и при этом слабое место его составляющая — железо. За исключением атомов железа, все компоненты

молекулы гемоглобина могут вырабатываться из многочисленных составляющих практически любой пищи. Ничто, кроме продолжительного непрерывного недоедания, не может воспрепятствовать процессу выработки гемоглобинового белка, но в этом случае возникнет выработка белков вообще, а не проблема одного только гемоглобина.

Из-за атомов железа (четыре в одной молекуле) гемоглобин выбивается из общего ряда. Пища обычно не слишком богата доступным железом. Железо, которое образует часть органической молекулы, такой, как сам гем, не так легко поглощается организмом. Мясо и яйца, богатые железом, тем не менее поставляют только несущественный его запас. Взрослых мужчин эта проблема не касается, поскольку их организм эффективно сохраняет железо, а его потери происходят исключительно при кровотечениях. У детей, которые растут и запасы гемоглобина которых должны увеличиваться с возрастом, содержание доступного железа в пище более насущный вопрос. Богатые железом каши, которыми в наши дни постоянно кормят детей, в этом отношении очень полезны.

Молодые женщины при менструациях еже-

месячно теряют 25 миллиграммов железа. Это не много, но его нужно чем-то компенсировать, а молоденькие женщины зачастую проявляют твердую решимость оставаться стройными любой ценой, и вполне может так случиться, что они не имеют достаточно железа в своем рационе питания. По этой причине железодефицитная анемия гораздо чаще встречается у молодых женщин, чем у других представителей населения.

К счастью, железодефицитная анемия легко вылечивается с помощью добавок железа в пищу. Железо наиболее легко впитывается, когда находится в виде неорганических солей. «Железные» пилюли часто применяют во время беременности. Хотя в это время менструации прекращаются, организм матери лишается железа, чтобы ребенок мог начать жизнь с его избыточным запасом. Запас железа в организме малыша в конечном счете должен быть несколько большим, чем просто достаточным для его потребностей в момент рождения и для обновления крови в первые шесть месяцев жизни, когда молоко, не слишком богатое железом, почти единственный продукт рациона младенца.

Анемия может возникать, даже когда железа в избытке, но при условии, что механизм транспор-

тировки кислорода каким-то образом выведен из строя. Подчас, к примеру, возникают изъяны в химических процессах организма, которые вызывают выработку гемоглобина, несколько отличающегося от обычного. Такой гемоглобин неизбежно менее эффективен в качестве переносчика кислорода.

Наиболее часто встречающаяся форма такого не совсем «правильного» гемоглобина вызывает *серповидноклеточную анемию.* Этот особенный гемоглобин менее растворим, чем обычный, и выпадает в осадок в растворе внутри эритроцита, когда содержание кислорода в крови низкое, как в венах. Эритроциты с таким гемоглобином, который кристаллизуется внутри их, обретают причудливые формы, иногда полумесяцы, напоминающие серп (откуда и название болезни). Эритроциты неправильной формы, слабые и хрупкие, легко разрушаются и вызывают анемию. Такое состояние передается по наследству, и лечения от него нет. Оно обнаруживается почти исключительно у аборигенов определенных западноафриканских регионов и у их потомков, включая некоторое количество афроамериканцев.

Неспособность организма надлежащим обра-

зом образовывать материал самого эритроцита встречается более произвольно. Этим материалом является *строма* (что по-гречески значит «матрас», то есть нечто, на чем может покоиться содержимое клетки). Эритроциты, которые были образованы с дефектной стромой, слабы и имеют среднюю продолжительность жизни 40 дней, а не 125 дней, как в норме. Стабильное снижение числа эритроцитов может быть ниже 2,5 миллиона на кубический миллиметр. Отдельные клетки обычно больше нормальных, но это не компенсирует потери в количестве. Эта болезнь — *пернициозная анемия* («пернициозный» означает «злокачественный») — была названа так потому, что до 20-х годов XIX века случаев ее успешного лечения отмечено не было и она неизбежно заканчивалась смертью. В 20-х годах XIX века было обнаружено, что большое количество печени в рационе может облегчить состояние таких больных, и к концу 40-х годов небольшое количество вещества, названного витамином B_{12}, было получено из печени и оказалось принципиально важным для лечения. Этот витамин теперь можно легко получить посредством управляемого бактериального брожения в лабораторных условиях, и, принимая таблетки по определенной

схеме, больные пернициозной анемией могут вести нормальную жизнь. Эта анемия теперь не такая уж злокачественная.

Химические вещества, случайно попавшие в организм, или токсины вторгнувшихся микроорганизмов могут так или иначе нарушить способность крови транспортировать кислород. Малярийный паразит, например, заполняет эритроцит и разрушает его. Это — *гемолиз* (что по-гречески означает «разрушение крови»), и именно в период гемолиза у больного случаются жестокие приступы озноба, которыми сопровождается малярия. Змеиный яд и яды других существ также способны гемолизировать кровь (разрушать эритроциты) или вызывать агглютинацию эритроцитов. И в том и в другом случае исход зачастую фатальный.

Угарный газ, порождение неживого мира, тоже представляет опасность. Подобно кислороду, угарный газ вступает в реакцию с гемоглобином крови. В отличие от кислорода угарный газ легко не высвобождается. Он остается в связанном состоянии. Даже когда в воздухе содержится незначительное количество угарного газа, гемоглобин, молекула за молекулой, связывается с ним и становится непригодным для транспорти-

ровки кислорода.

Другие газы могут вести себя точно так же, но угарный газ наиболее опасен, потому что наиболее часто встречается. Он может образовываться в любой печи с плохой вентиляцией, его можно обнаружить в автомобильном выхлопе и в бытовом газе, используемом на кухне для приготовления пищи. Все три источника угарного газа обычно причастны к смерти от удушья как в результате несчастного случая, так и при самоубийстве.

Избыток хорошего тоже может повлечь за собой плохие последствия. Выработку эритроцитов стимулирует, как я говорил раньше, пониженное содержание кислорода в крови. Обычно по мере повышения числа эритроцитов в крови содержание кислорода также повышается, и быстрота образования новых эритроцитов нивелируется. Однако иногда стенки кровеносных сосудов, питающихкостный мозг (где образуются эритроциты), утолщаются, например из-за атеросклероза, до такой степени, что подача крови к этим тканям резко сокращается. Костный мозг страдает от недостатка кислорода в результате сужения просвета кровеносных сосудов, а не от реального недостатка кислорода

в крови. Выработка эритроцитов ускоряется, но это не исправляет ситуацию, поэтому процесс продолжается бесконечно. В результате в крови образуется много эритроцитов, что опасно. Такое состояние называется *полицетимия* (что по-гречески означает «много клеток в крови»), или *эритроцитоз.* Кровь становится густой и вязкой выше нормы, кровообращение нарушается, и результат может быть губительным.

Лейкоциты и тромбоциты

Кроме эритроцитов, в крови содержатся полноценные клетки с ядрами. Это *лейкоциты* (по-гречески «белые клетки», поскольку, в отличие от эритроцитов, у них отсутствует пигмент). Их часто называют просто белыми кровяными тельцами по аналогии с красными, хотя лейкоциты вовсе никакие не тельца, а настоящие клетки.



МИЕЛОБЛАСТ



ЭОЗИНОФИЛЬНЫЙ МИЕЛОЦИТ

Большинство лейкоцитов, хотя и не все, вырабатываются костным мозгом вместе с эритроцитами. На начальных стадиях эти клетки представляют собой *миелобласты* (по-гречески «почки костного мозга»), а затем *миелоциты* (что по-гречески означает «клетки костного мозга»). Они образуются в больших количествах, но их жизнь тяжела и опасна, поэтому долго они обыч-

но не живут.

В результате их число в крови в любое время всего 7000 на кубический миллиметр, поэтому эритроциты численно превосходят лейкоциты в пропорции 650:1. Тем не менее, в масштабах всего объема крови среднестатистический человек обладает в любой момент приблизительно 75 миллиардами лейкоцитов.

Лейкоциты существуют в многочисленных вариантах, отличающихся друг от друга по размеру и внешнему виду. В общем и целом их можно разделить на два класса: лейкоциты в виде гранул (*гранулоциты*, или зернистые лейкоциты) и лейкоциты, внешним видом не напоминающие гранулы (*агранулоциты*, или незернистые лейкоциты). Гранулоциты обычно имеют ядро сложной формы, образованное двумя или более долями. Из-за этого их иногда называют *полиморфонуклеарными* (что по-гречески значит «многообразное ядро») лейкоцитами. Они обычно составляют около двух третьих всех лейкоцитов в кровотоке. Их, в вою очередь, можно подразделить на три типа в зависимости от того, окрашиваются ли они кислотным красителем, таким, как эозин, основным красителем или нейтральным красителем. Представителей этих типов называют

соответственно *эозинофилы* (что по-гречески значит «любящий эозин»), *базофилы* (по-гречески «любящий основу») и *нейтрофилы* («любящий нейтральность» по-гречески). Из них наиболее часто встречаются нейтрофилы.


БАЗОФИЛ


НЕЙТРОФИЛ


МОНОЦИТ

Что же касается агранулоцитов, которые составляют оставшуюся треть белых кровяных телец, то они характеризуются большими ядрами, по форме более простыми, чем у гранулоцитов, без отдельных долей и иногда заполняющими большую часть клетки. Их также подразделяют на три вида, которые перечислены в порядке убывания размеров: *моноциты* (от греческого «целая клетка», что подразумевает тот факт, что у ядра имеется всего одна доля), *большие лимфоциты* и *малые лимфоциты.* Малые лимфоциты (я объясню их название позже) по размеру не превышают эритроцит и составляют почти четверть всех лейкоцитов. Вслед за нейтрофилами наиболее встречающимися из лейкоцитов являются малые

лимфоциты. Агранулоциты не вырабатываются костным мозгом — к этому вопросу я вернусь позже. Чтобы внести ясность, будет полезно составить таблицу.

	Количество на кубический миллиметр		
Все лейкоциты	7000		
Гранулоциты		4625	
Нейтрофилы			4500
Эозинофилы			100
Базофилы			25
Агранулоциты		2375	
Малые лимфоциты			1700
Моноциты			450
Большие лимфоциты			225

Нейтрофилы имеют удивительную способность передвигаться подобно амебам. Они и в меньшей степени другие лейкоциты могут сжиматься в достаточной мере, чтобы протиснуться между клетками, образующими тонкую стенку капилляра. Таким образом, они покидают систему кровообращения и попадают в другие ткани. Этот процесс называется *диапедез* (что по-гречески значит «протиснуться»).

Такая способность чрезвычайно важна, поскольку лейкоциты являются ударными войсками организма, способными заглатывать и

переваривать бактерии и другие инородные частицы. Вторжение бактерий в любом месте стимулирует поблизости диапедез. Лейкоциты, приносимые к этому месту кровотоком, в большом количестве попадают в ткань и пожирают бактерий приблизительно так же, как амеба заглатывает какую-нибудь частичку пищи. Таков процесс *фагоцитоза* (по-гречески «поедание клеток»), и он один из главных средств защиты организма от инфекции.

Еще одно, но более тонкое средство защиты организма состоит в действии определенных белков плазмы крови, называемых *антителами.* Они вырабатываются под действием инородных веществ, скажем, таких, как бактериальный токсин или углевод на поверхности бактериальной клетки. Антитела, которые образуются, вступают в специфическую реакцию с определенным токсином или с поверхностью определенной бактериальной клетки, которые стимулировали их образование. Они будут так или иначе лишать токсин или бактерию возможности действовать. На протяжении жизни человек обзаводится многими видами антител. Эти антитела непрерывно готовы вступать в реакцию с вторгнувшимися субстанциями, делая человека резистентным

(нечувствительным) к многочисленным недугам.

Лейкоциты не считают бактерий безвредными. Бактерии содержат токсины, которые, в свою очередь, могут убивать лейкоциты. В зависимости от природы бактерий лейкоцит может поглощать сразу до пятидесяти или ограничиваться только двумя до того, как погибнет сам. В месте заражения мертвые и разрушенные лейкоциты собираются в виде гноя. Обычно мы осознаем это, когда в результате инфекции волосяного *фолликула* (мешочка) возникает фурункул (нарыв), собирающаяся в этом месте (приносящая лейкоциты к месту действия) кровь дает покраснение и отек, в то время как давление жидкости делает его болезненным. Ткани между местом воспаления, вызванного инфекцией, и кожей постепенно распадаются до тех пор, пока скопление гноя и бактерий не будет покрывать всего лишь топкая мембрана. У фурункула образуется «головка», и он наконец прорывается, выпуская гной.

Количество лейкоцитов может то увеличиваться, то уменьшаться в ответ на определенные отличающиеся от нормы условия. Повышение называется *лейкоцитоз* (суффикс «оз» используется в медицинской терминологии для обозначения

патологического возрастания чего-либо), а снижение — *лейкопения* (что по-гречески означает «нехватка белых кровяных телец»). Такие изменения не обязательно присущи всем типам клеток, и иногда полезно производить дифференциальный подсчет. Для этого мазок крови окрашивают и изучают под микроскопом. Изменение соотношения различных типов клеток при этом может быть использовано в качестве вспомогательного показателя при постановке диагноза. К примеру, при острых инфекциях повышается количество нейтрофилов (*нейтрофилия*).

Особенно серьезным является случай, когда рост количества лейкоцитов возникает в результате рака тканей, которые их вырабатывают.

Рак — это болезнь, характеризующаяся несдерживаемым ростом, и в этом случае несдерживаемый рост проявляется в безграничном образовании лейкоцитов. Число лейкоцитов может доходить до 250 000 на кубический миллиметр, а рост превышать норму в 35 раз и более. Белые кровяные тельца, превалируя количественно, вовлекают в этот процесс другие органы, вторгаясь в них и нанося ущерб их функциям. Образование эритроцитов ограничивается избыточной работой механизма производства лейкоци-

тов, поэтому появляется анемия. Эта болезнь, неизбежно приводящая к смерти, называется *лейкемия* (что по-гречески «белокровие»).

Существует третий тип форменных элементов крови. Они гораздо меньше и еще менее похожи на клетку, чем эритроцит. Это кровяные пластинки, названные так из-за плоской формы. Диаметр их вдвое меньше диаметра эритроцитов. Поскольку они участвуют в процессе свертывания крови, их еще называют *тромбоциты* (что по-гречески означает «свертывающие кровь клетки»). Тромбоциты, как и эритроциты, образуются в костном мозге. Вначале они представляют собой необычайно большие клетки со множеством ядер, называемые *мегакариоциты* (что по-гречески означает «гигантские клетки с ядрами») — предшественники тромбоцитов. Они в 5 раз превышают диаметр обычной клетки и в 25 раз — диаметр конечной пластинки. Через неделю после образования цитоплазма мегакариоцита начнет дробиться, а затем он распадется на маленькие кусочки — тромбоциты. Средняя продолжительность жизни тромбоцитов в крови всего 8–10 дней. Их гораздо больше, чем лейкоцитов, но меньше, чем эритроцитов, — до 250 000 на кубический миллиметр.

Тромбоциты вступают в игру, как только из-за какой-нибудь раны кровь просочится через барьер, создаваемый кожей. Контакт с воздухом разрушает тромбоцит, обнажая его содержимое. Это вызывает серию химических изменений, которые заканчиваются преобразованием *фибриногена* (по-гречески «производящий волокна»), растворимого белка плазмы крови, в нерастворимые волокна *фибрина.* Волокна фибрина осаждаются из крови подобно тончайшей сети, в которую попались форменные элементы. Сеть плюс пойманные в нее клетки образуют сгусток, который запечатывает рану и прекращает кровотечение. С остановкой кровотечения рана начинает заживать, и в конечном итоге затвердевший сгусток, или болячка, отпадает.

В сложный процесс образования сгустка вовлечен ряд факторов свертывающей системы крови, каждый из которых должен надлежащим образом реагировать до достижения удовлетворительного результата. Иногда тот или иной фактор свертывания отсутствует, и сгусток не образуется. Такое состояние может быть вызвано намеренно. Образец крови можно дефибринировать быстрым помешиванием во время забора крови. Фибрин, который образуется, оседает на

палочку, с помощью которой происходит помешивание, и его можно удалить. Если форменные элементы отцентрифугировать, то останется плазма минус фибриноген. Это сыворотка крови. В этом случае проблемы образования сгустка нет, и именно поэтому именно она обычно используется для лабораторных анализов, ведь слово «сыворотка» гораздо более нам знакомо, когда речь идет о крови, чем слово «плазма».

Иногда при заборе в кровь добавляется химическое вещество, такое, как *оксалат*, или *цитрат* (соль лимонной кислоты). Это вещество связывает в крови ионы кальция (один из факторов свертывания), и образования сгустка не происходит. Иногда вещество, называемое *гепарин* (от греческого слова «печень», потому что впервые был выделен именно из печени), добавляется в кровь, чтобы предотвратить ее свертывание. Это удобно во время операций, когда нежелательно, чтобы происходило преждевременное свертывание крови. К несчастью, иногда случается, что у человека от рождения отсутствует способность вырабатывать один из факторов связывания крови. В таком случае говорят, что этот человек гемофилик, то есть у него остановить кровотечение чрезвычайно трудно. Такое

состояние называется *гемофилия* (от греческих слов «кровь» и «любовь», то есть «склонность к кровоточивости»).

Лимфа

Я уже указывал, что система кровообращения состоит не только из совершенно изолированных капилляров, поскольку различные лимфоциты без труда могут проникать наружу. Неудивительно, что если большие клетки способны на это, то и крошечные молекулы воды и некоторых других веществ, содержащихся в ней в растворенном виде, могут это делать. И действительно, под давлением крови, перекачиваемой артериями, жидкость выдавливается из капилляров. Это происходит в артериолах, которыми заканчиваются разветвления артерий, и давление в этих крошечных сосудиках наивысшее.

Эта проступающая сквозь стенки сосудов жидкость, которая омывает клетки организма и играет роль некого посредника между ними и кровью, называется *интерстициальной жидкостью*, поскольку обнаруживается в промежутках между клетками. Интерстициальной жидкости гораздо больше, чем плазмы крови, — у среднестатистического человека ее 8 литров, тогда как плазмы только 3.

По составу интерстициальная жидкость не

совсем похожа на плазму, поскольку не все растворенные в плазме вещества могут проникать через стенки капилляров. Около половины белков не проникает, поэтому интерстициальная жидкость содержит только 3–4 процента белков, в то время как в плазме содержится около 7 процентов белков.

Естественно, капилляры не могут непрестанно терять жидкость в течение неограниченного времени, поэтому тут тоже есть нечто вроде системы циркуляции. Некоторое количество интерстициальной жидкости снова попадает в капилляры через венулы, где давление крови значительно меньше, чем в артериях. Кроме того, в межтканевых пространствах содержатся тонкостенные капилляры, которые заканчиваются слепым концом, и через эти капилляры просачивается некоторое количество интерстициальной жидкости. Находящаяся в сосудах интерстициальная жидкость называется *лимфа* (что по-латыни значит «чистая вода»); она действительно похожа на чистую воду, если сравнивать ее С вязкой красной кровью. Сами эти сосуды называются *лимфатическими сосудами.*

Лимфатические капилляры сливаются во все большие и большие лимфатические сосуды, ко-

торые в конечном счете объединяются, образуя правый и левый лимфатические протоки. Они вливаются в подключичные вены за ключицей, и таким образом лимфа возвращается в кровеносные сосуды. Левый лимфатический проток больший из протоков и самый крупный лимфатический сосуд в организме. Обычно его называют *грудной проток*, поскольку он проходит через грудь или грудную клетку до места соединения с подключичной веной.

По лимфатическим сосудам лимфа течет очень медленно из-за отсутствия какого-либо перекачивающего действия, как в случае с венами, и основной движущей силой является сокращение мышц во время обычной деятельности организма. Лимфатические сосуды, как и многие вены, имеют односторонние клапаны, которые следят за тем, чтобы жидкость текла только в нужном направлении. Из-за медленного течения по лимфатическим сосудам очень небольшое количество интерстициальной жидкости возвращается в систему кровообращения именно таким образом по сравнению с непосредственным возвратом через венулы капилляров. Тем не менее, лимфатические сосуды — полезный фактор регуляции, поскольку поток то возрастает,

то уменьшается с изменением давления внутри тканей и поддерживает давление на нормальном уровне. Эффект такой регуляции лучше всего заметен при его отсутствии. Если по какой-то причине происходит блокирование лимфатического сосуда, жидкость скапливается в тканях, вызывая отеки или водянку. Личинки тропических червей иногда поселяются в организме и блокируют лимфатическую систему, вызывая такой сильный отек, к примеру ног, что болезнь стали называть *элефантиаз* (слоновая болезнь).

Более локализованный и временный отек появляется в месте укуса комара или пчелы. Отеком также сопровождаются определенные аллергические реакции, такие, например, как крапивница.

В различных местах тела, особенно в области локтя, колена, подмышек и паха, вдоль лимфатических сосудов разбросаны напоминающие бобы массы, в которые входят лимфососуды и из которых выходят лимфососуды, несколько большие размеру. Изначально они были названы *лимфатические железы* (от латинского слова «желудь»), потому что действительно похожи на желудь. Слово «железа» имеет необычную историю. Поскольку лимфатические железы представляют собой небольшие кусочки тка-

ни, и другие небольшие участки тканей стали называть железами, даже когда сходства с желудем не наблюдалось. Затем оказалось, что некоторые из этих желез секретируют жидкости различного вида, одни через капал, ведущий к поверхности кожи или во внутренние органы, другие непосредственно в коровоток. Вот почему анатомы стали называть любой орган, который образует секрет, железой, даже если он довольно большой и не похож на желудь. Печень, к примеру, — огромный орган, весящий несколько фунтов, — называется железой, потому что секретирует жидкость в желудочно-кишечный тракт.

С этой новой точки зрения лимфатические железы — вовсе не железы, поскольку не секретируют никакой жидкости. По этой причине они получили другое название — *лимфатические узлы* (потому что лимфатические сосуды, сходящиеся в этих местах, образуют узлообразнуго выпуклость), которое стало популярным. Именно в лимфоузлах образуются незернистые лейкоциты (агранулоциты), и именно поэтому две их разновидности и были названы лимфоцитами. Хотя в лимфе не содержатся эритроциты или тромбоциты в количестве, о котором стоило бы говорить, она богата лимфоцитами, а сами узлы

битком набиты ими.

Лимфоузлы, таким образом, образуют вторую линию защиты от инфекции следом за первой линией нейтрофилов, которые устремляются в ткани, непосредственно подвергающиеся инфекции. Любая бактерия или другое чужеродное вещество, которые ускользнули от нейтрофилов или силой проделали себе путь через них и попали в систему кровообращения, будут профильтрованы черезлимфоузлы. Здесь бактерии погибнут, а токсины нейтрализуются, поскольку еще одной функцией лимфоузлов является выработка плазменных белков, которые образуют антитела.



ЛИМФАТИЧЕСКИЕ СОСУДЫ
И ЛИМФАТИЧЕСКИЕ УЗЛЫ

В процессе этого лимфоузлы набухают и могут

стать болезненными; особенно те, что расположены ближе всего к очагу инфекции. Наличие «распухших железок» (как их называют мамы и доктора, вопреки более повой терминологии) по бокам нижней челюсти, в подмышках или в паху — это показатель какой-то инфекции в организме.

Битву с инфекцией ведут также большие участки ткани, похожей по строению на лимфатические узлы и поэтому называемой *лимфоидной тканью.* Селезенка, о которой я упоминал ранее в этой главе, — самый большой орган человеческого тела, состоящий из лимфоидной ткани. Она тоже фильтр, удаляющий погибшие красные кровяные тельца и другие отходы. Макрофаги, поглощающие эти отходы, являются формой моноцитов. (Это указывает на другую функцию лейкоцитов, а именно уборку «мусора». Большие лейкоциты приносят пользу, поскольку могут захватывать несколько большие «куски».)

Островки лимфоидной ткани, находящиеся в горле и в носу, так сказать, стоят на страже в местах наибольшей опасности. Они носят общее название *миндалины*, но этот термин в общедоступном понятии ограничивается двумя довольно большими (размером 1 дюйм на 0,5

дюйма) участками лимфоидной ткани, расположенными в месте, где глотка сходится с мягким небом. Кроме этого, имеется от 35 до 100 крошечных лоскутков лимфоидной ткани позади языка. Это — *язычные миндалины.* Там, где глотка соединяется с носовыми проходами, находится пара *глоточных миндалин.* Все эти миндалины действуют точно так же, как и лимфатические узлы, отфильтровывая бактерии и борясь с ними с помощью лимфоцитов. Как в случае с лимфатическими узлами, они могут, когда борьба с бактериями идет тяжелая, воспаляться, опухать и становиться болезненными (тонзиллит, или воспаление миндалин). В чрезвычайных случаях их защитная функция может снижаться, и тогда уже они сами могут стать источником инфекции. В этом случае, возможно, их следует удалить с помощью всем знакомой операции под названием *тонзилэктомия.* (Суффикс «эктомия» происходит от греческого слова, означающего «вырезать», и обычно используется в медицинской терминологии для обозначения хирургического удаления какой-либо части организма. К примеру, вам сразу станет ясно, что значит термин «аппендэктомия».) Набухание глоточных миндалин, более известных как *аденоиды*, может создавать силь-

ную помеху дыханию, и в этом случае их тоже можно удалить.

Определенные примитивные клетки, присутствующие в лимфоидной ткани и в таких местах, как легкие, печень, костный мозг, кровеносные сосуды и соединительные ткани, также, по-видимому, выполняют функцию «мусорщиков», подобно макрофагам в селезенке. Иногда они объединяются вместе, образуя *ретикуло-эндотелиальную систему. Эндотелий* — это слой плоских клеток, выстилающих внутреннюю поверхность лимфатических сосудов, а *ретикулум* означает «сеть». Ретикуло-эндотелиальная система — это, другими словами, сеть клеток, включающая в себя клетки, которые выстилают лимфатические сосуды.

Глава 8
Внутренние органы

Пища

Кислород сам по себе не является источником энергии. Для того чтобы обеспечить организм необходимой энергией, кислород должен сочетаться с атомами углерода и водорода, составляющими молекулы, которые присутствуют в пище. Элементарным источником пищи является растительность. Зеленые растения за счет солнечной энергии преобразуют углекислый газ и воду в сложные органические молекулы, состоящие в основном из атомов углерода и водорода. Эти молекулы подразделяются на три класса: *углеводы, липиды* (жиры) и *белки.* Любой из них может взаимодействовать с кислородом в процессе множества сложных химических реакций, и при этом высвобождается энергия, необходимая для поддержания жизни.

Животные не строят, как растения, сложных молекул углеводов, липидов и белков из простых молекул двуокиси углерода и воды, чтобы затем жить за счет их. Вместо этого они грабят запасы, с таким трудом созданные растениями, или поедают животных, которые, в свою очередь, питаются этими растениями.

Одноклеточные демонстрируют самый простой способ, с помощью которого животное может прокормиться. Амеба, к примеру, просто обтекает организм, меньший, чем она сама, или частичку органического вещества, поглощая его в заполненной водой пищеварительной *вакуоли* (от латинского слова «пустой», поскольку вакуоль выглядит как полое отверстие внутри клетки, если не считать частичек пищи, которые в ней содержатся). Внутри вакуолей выделяются специальные белки, называемые *ферментами* (что по-гречески означает «в дрожжах», поскольку ферменты вначале были обнаружены в клетках дрожжей, исследованных лучше остальных). Действие ферментов направлено на ускорение распада сложных молекул пойманной в ловушку пищи с образованием более простых и гораздо меньших молекул, которые клетка затем в состоянии включить в собственную субстанцию и встроить в сложные молекулы, несколько отличающиеся от молекул пищи, а скорее характерные для самого организма.

Такая форма питания предусматривает, чтобы частички пищи были меньше, чем клетки, участвующие в этом процессе; и по мере того, как организм становится больше, ему будет все

труднее и труднее выживать за счет частиц пищи, которые всегда меньше его клеток. Гораздо эффективнее будет для одного организма значимого размера сделать своей добычей другой достаточного размера организм. Например, хищник мог бы обеспечить себя пропитанием в виде большого куска. Конечно, ни одна из его клеток не сможет поглотить этот большой кусок, организму придется сначала расщепить его при помощи ферментов, а уж потом всосать продукты распада.

Все это хорошо, но невыполнимо в открытом океане. По мере того как пища будет размываться, водные течения унесут продукты прочь, а если этот процесс будет осуществляться в открытом пространстве, то все соперничающие за еду получат свою долю. Решением этой проблемы было бы изолировать маленькую частицу океана и в этом ограниченном пространстве размельчать пищу без спешки и в полном одиночестве.

Простейшими организмами, которые осуществили эту задачу, были предки современных медуз. Такие организмы представляют собой двойной слой клеток в форме полого сосуда. Отверстие такой «вазы» и есть примитивный рот. В случае с этими животными рот обычно

обрамляют щупальца, способные обжигать и обездвиживать добычу, которая затем может быть засунута вовнутрь «вазы», то есть в пищеварительный канал. Ферменты выливаются в пищеварительный канал из окружающих клеток, и сложные организмы разлагаются на более простые вещества и по возможности переводятся в растворимое состояние. Этот процесс, называется усвоение пищи, или *пищеварение.* Растворенные вещества, образующиеся при переваривании, затем поглощаются различными клетками, выстилающими пищеварительный канал, а те частицы пищи, которые не поддаются разложению (неперевариваемые остатки), выбрасываются через ротовое отверстие. Именно из-за развития пищеварительного канала тип, к которому принадлежит медуза, назван кишечнополостными. Я упоминал этот тип как вполне вероятного предка всех других многоклеточных.

Естественно, чем больше животное, тем больше его пищеварительный канал и с тем большим отдельным куском пищи он может справляться. Единственным очевидным поводом для усовершенствования является тот факт, что типичное кишечнополостное имеет только одно отверстие, ведущее в пищеварительную полость. Через

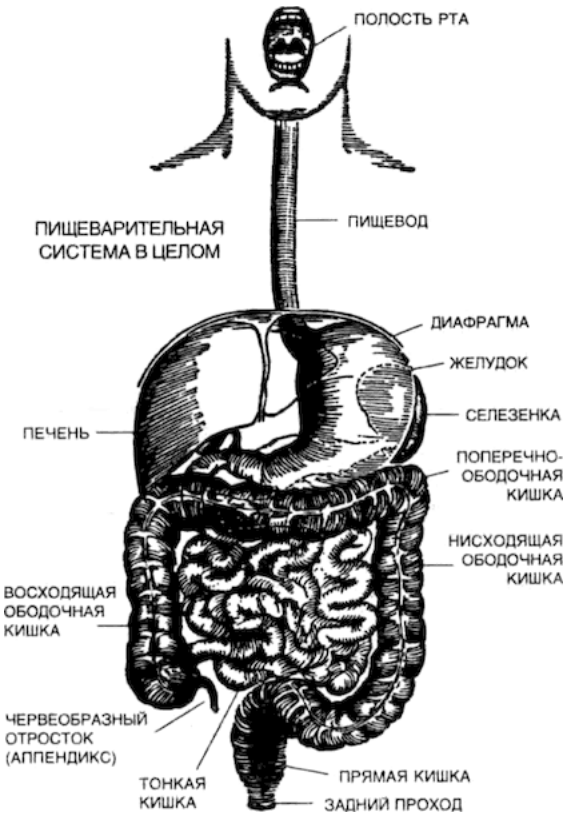
это отверстие должна поступать пища, а непереваренные остатки выходить наружу. Когда выполняется одна функция, другая осуществляться не может. Поэтому следующим шагом, впервые предпринятым некоторыми червями, было добавление второго отверстия в тыльной части животного, что-то вроде черного хода. Теперь первоначальное отверстие используется для подачи пищи, а второе — для выбрасывания непереваренных остатков. Пища будет проходить внутрь через капал только в одном направлении, и процесс ее поглощения теоретически может быть бесконечным.

Все животные, более сложные, чем черви (включая и нас с вами), сохраняют основное строение тела в виде полости с двумя отверстиями, проходящей через весь организм. Полость называется алиментарный тракт (от латинского слова «пища»), пищеварительный тракт или *желудочно-кишечный тракт.* Вещества внутри пищеварительного тракта на самом деле находятся не внутри организма, а лишь внутри трубки, которая открыта для внешнего мира с обоих концов, подобно дырке в бублике. На самом деле этот факт не столь очевиден, как может показаться, поскольку непрактично иметь отвер-

стия во внешний мир действительно открытыми; тогда в пищеварительный тракт мог бы слишком свободно попадать ветер или водный поток. Вместо этого оба конца обычно закрыты так, чтобы полость между ними могла более основательно контролироваться телом. Тогда внешне основная схожесть в строении между нами и бубликом становится менее заметной.

Ротовая полость

У нас вход в пищеварительный тракт закрыт круговой лентой мышц, проходящей вокруг губ, той самой, которой мы пользуемся, когда поджимаем губы. Это orbicularis oris, что в переводе с латинского значит «маленький кружок вокруг рта».



Такая круговая мышца называется *сфинктер* (от греческого «туго обжимать»); обычно она находится в сжатом состоянии, «стягивая» от-

верстие, подобно завязкам кошелька. В этом отношении orbicularis oris не совсем сфинктер, поскольку по большей части расслаблена, ведь мы не ходим с крепко сжатыми губами. Тем не менее ее иногда называют sphincter oris.

Когда нижняя челюсть отвисает и orbicularis oris расслабляется, вход в пищеварительный тракт широко раскрывается, и та часть, что мы видим, — это рот. Самый очевидный из его характерных признаков тот, что он красный. Он выстлан не кожей, а гораздо более тонкой слизистой оболочкой. Она тоньше кожи и поэтому более прозрачна, и цвет ее — цвет крови в маленьких кровяных сосудах, которыми она щедро наделена.

Слизистая оболочка заворачивается наружу на лице, образуя губы, существующие только у млекопитающих. Наличие мягких и мускулистых губ у млекопитающих имеет смысл, поскольку дает возможность детенышам млекопитающих образовывать мягкое круговое уплотнение вокруг соска матери. Тогда он может сосать молоко, не повреждая соска и не всасывая нежелательного воздуха.

Поскольку губы тоже покрыты тонкой оболочкой (хотя и не столь тонкой, какова она на

внутренней поверхности рта), они красного цвета. Губы не снабжены железами, вырабатывающими слизь, поэтому, когда нежная оболочка высыхает, мы чувствуем неудобство и периодически, даже не осознавая этого, увлажняем губы языком. В холодную сухую погоду, когда нам все меньше и меньше хочется открывать рот, оболочка губ высыхает и может шелушиться или трескаться.

Хотя рот у человека первостепенно важен для выполнения функции речи, он, как и у всех других живых существ, кроме самых простейших, прежде всего служит для приема пищи. Если пища не находится в жидком или желеобразном состоянии, ее нужно превратить в таковое, и для этой цели рот обрамляет двойная линия зубов. Они приспособлены для того, чтобы кусать, разрывать и пережевывать пищу, и их важность особенно хорошо понятна тем, кто по возрасту или из-за болезни лишился зубов. Хотя современная стоматология разработала отличные вставные зубы, они не могут служить так же хорошо, как настоящие.

Если частичкам пищи позволить накапливаться между зубами, они станут служить питательной средой для бактерий, которые не

только будут разрушать зубы, но также приведут к воспалению фиброзных (волокнистых) тканей, которые покрывают корни зубов. Эти ткани, покрытые слизистой оболочкой, называют *десны.* При воспалительном процессе десны становятся болезненно чувствительными и кровоточивыми, это состояние называют *гингивит* (что по-латыни означает «воспаление десен»). В экстремальных случаях карманы гниющих остатков пищи между зубом и краем десны служат источником хронической инфекции, повреждая корень и близлежащую челюстную кость, что в конце концов приводит к потере зуба. Это состояние называется *пиорея* (по-гречески «ноток гноя»), и именно она по большей части служит причиной потери зубов у людей после тридцатипятилетнего возраста.

По мере того как пища пережевывается зубами, она передвигается подвижным и мускулистым языком, который регулирует процесс так, чтобы пища не проскальзывала между зубов слишком быстро. Губы и щеки стоят на страже вдоль внешней кромки зубов. При этом особенно полезны щечные мышцы. Их называют *щечные мускулы* или мускулы трубачей, поскольку трубачу, чтобы дуть в трубу, необходимы тугие щеки.

Скоординированные движения всех составляющих ротовой полости достаточно точны, чтобы довести процесс жевания до завершения так, чтобы ни одно из них не попало междурядами жующих зубов. Если в редком случае эта координация нас подводит, то, к нашему величайшему удивлению, острая боль оттого, что мы прикусили себе язык, всегда сопровождается почти непроизвольным чувством недоверия.

Животные используют язык самым разным образом — чтобы хватать пищу (как жираф), лакать жидкость (как кошки), чувствовать внешнее окружение (как змеи), осуществлять терморегуляцию (как собаки), нападать на жертву (как хамелеоны и жабы) или захватывать (как муравьед). У человека, однако, язык обладает уникальной функцией, дающей возможность разборчиво говорить. Целью средневекового наказания, когда отрезали язык, было не исключить возможность приема пищи, по положить конец разборчивой речи. Важность языка в этом отношении подкрепляется тем фактом, что мы часто говорим «иностранный язык», когда имеем в виду иностранную речь.

Язык покрыт множеством маленьких конических бугорков, называемых сосочками, которые

делают поверхность языка ощутимо бархатистой. (У представителей семейства кошачьих они довольно большие и довольно твердые, что придает языку этих животных шершавость, и любой, кого когда-либо лизнула домашняя кошка, знает, что в целом это не слишком приятное ощущение.) Среди сосочков находятся небольшие скопления клеток, которые реагируют на химический состав пищи присоприкосновении с ними и дают нам вкусовые ощущения. Эти скопления клеток, следовательно, являются вкусовыми сосочками.

При пережевывании пищи мы не только измельчаем ее, но и смешиваем с жидкостью, превращая в мягкую, рыхлую смесь. Жидкость, используемая с этой целью, слюна, на 97–99 процентов состоит из воды, но также содержит мукополисахарид, называемый *муцин* (слизистый секрет), который даже в небольших количествах придает слюне липкость и вязкость.

Слюна также содержит фермент, устаревшее название которого *птиалин* (от греческого слова «слюна»). Под действием этого фермента крахмал разлагается на более простые молекулы декстринов и Сахаров, поэтому можно сказать, что процесс переваривания пищи начинается во рту. Действительно, если вы набьете полный

рот картофелем, богатым крахмалом и мягким, и будете жевать его достаточно долго, то почувствуете слабый сладкий вкус, так как начнут скапливаться сахара. Поскольку по-латыни крахмал называется amylum, этот фермент назвали «слюнной амилазой».

Слюну выделяют три пары желез: сублингвальная, или *подъязычная*, железа; субмаксиллярная, или *подчелюстная*, железа и, наконец, *околоушная* железа. Названия в каждом случае происходят от расположения отдельных желез. Секрет этих слюнных желез попадает в рот через узкие канальцы.

Мы убеждаемся в наличии слюнных желез, когда они инфицированы вирусом, вызывающим отек околоушных желез — это свинка. Большинство детей перебаливает в раннем возрасте. В этом есть преимущество, поскольку, хотя заболевание протекает довольно легко и оставляет пожизненный иммунитет, тот, кто заболел им во взрослом возрасте, может получить тяжелые осложнения.

У человека ежедневно образуется от полулитра до литра слюны, и она секретируется даже тогда, когда мы не заняты пережевыванием. Слюна служит для того, чтобы рот всегда был увлажненным

и чистым, смачивает язык и щеки, чтобы трение о зубы при разговоре или жевании не приводило к раздражению. Скорость слюноотделения быстро возрастает при виде или запахе еды или даже мысли о ней, особенно если человек голоден. Тогда рот получает «воду».

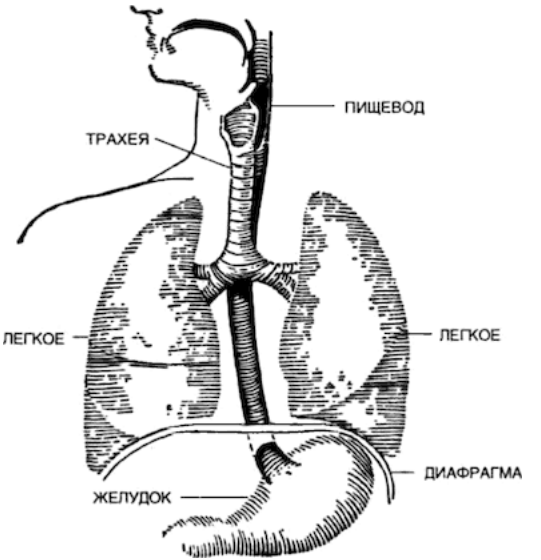
Желудок

Когда пища пережевана, увлажнена и доведена до полужидкого состояния, язык скатывает ее в шарик и проталкивает в глотку. Таково глотательное действие, или глотание. На этой стадии осознанная часть пищеварительного процесса закапчивается. После этого все продолжается автоматически.

Язычок движется вверх, чтобы закрыть носовые ходы, а надгортанник прикрывает гортань.

Возврат пищи предотвращает язык, поэтому она может двигаться только в одном оставшемся направлении, в трубку, ведущую вниз, которая располагается сразу за трахеей. Эта трубка называется *пищевод* (от греческого слова «эгзофаг» — «несущий съеденное»). Длина пищевода 9 или 10 дюймов, а ширина — меньше дюйма. В нижней области, после пересечения грудной клетки, пищевод проходит через диафрагму (пищевод и аорта — самые большие структуры, которые проходят через диафрагму). Пищевод имеет мышечную стенку, как с продольным, так и с круговым расположением мышечных волокон. Мышцы нескольких верхних дюймов пищевода

бороздчатые или полосатые, но становятся гладкими в нижней части.



Пища, попадая в пищевод, расширяет его, стимулируя сокращение круговых мышц как раз над областью расширения. Это, в свою очередь, вызывает сокращение кольца мышц точно внизу, затем следующего за ним, и так постепенно до самого низа пищевода. Каждая мышца после сокращения снова расслабляется, приходя в го-

товность для нового периода сокращений, когда следует очередной комочек пищи. Серии двигательных сокращений служат для проталкивания пищи вниз по всей длине пищевода. Одной силы тяжести недостаточно, ведь шарик пищи все еще полутвердый и вязкий, и мускульное воздействие, или *перистальтика* (от греческого слова «сокращение»), служит для ускорения процесса. Именно такое перистальтическое действие дает возможность бросить вызов силе тяжести и с успехом проглатывать пищу даже стоя на голове или, отвечая главным задачам современности, в свободном падении (или невесомости). (У птиц нет такой способности, и пьющая птица должна запрокидывать голову с каждым глотком, чтобы дать возможность силе тяжести выполнить свою работу.)

Пищевод, подобно рту и пищеварительному тракту, в основном выстлан слизистой оболочкой. Скользкая слизь защищает пищевод от абразивного действия любых оставшихся непережеванными частиц пищи.

В нижней части пищевода, сразу под диафрагмой, располагается последняя круговая мышца, которая обычно находится в состоянии сокращения и служит в качестве сфинктера. Это

— *сердечный сфинктер*, названный так потому, что располагается рядом с сердцем, а вовсе не потому, что является частью сердца или имеет какое-то отношение к сердечной деятельности. При приближении шарика пищи сердечный сфинктер расслабляется, его отверстие расширяется, и пища выстреливается в желудок.

Желудок — это не только самая широкая часть пищеварительного тракта, но и самая мускулистая. Пустой желудок напоминает J-образную трубку, верх которой прижат к диафрагме. Верхняя часть желудка над сердечным сфинктером обычно несколько раздута газом, даже когда желудок пуст. Эта верхняя часть называется *свод*, или дно желудка — по-латыни fundus. (Вот пример случая, когда знание латыни не помощь, а помеха. Слово «fundus» в латинском языке обозначает часть резервуара, самую далекую от отверстия, которая в обычных случаях считается дном резервуара. Поэтому слово «fundus» стало обозначать «дно». Если представить себе, что желудок имеет входящую и выходящую трубки, то fundus должен также располагаться на дне желудка, но у живого человека, стоящего или сидящего, свод желудка располагается вверху.)

Нижняя часть желудка — это *привратник* (от

греческого «страж ворот»), поскольку он заканчивается сфинктером, который действительно является «стражем» для остального пищеварительного тракта. Внутренняя стенка пустого желудка собрана в продольные складки, называемые rugae (в переводе с латыни — морщина, складка), но по мере того, как желудок наполняется пищей, складки разглаживаются. Полный желудок имеет грушевидную форму и более раздут в своде. Вместимость желудка взрослого человека около 1,5 литра. Она конечно же гораздо меньше у подростков, а у новорожденного младенца может быть всего 60 кубических сантиметров.

Желудок у человека — хранилище пищи в процессе переваривания. Его вместимость больше, чем вместимость любого другого эквивалентного ему участка пищеварительного тракта, и пища обычно остается в желудке три или четыре часа, прежде чем пройти дальше. Эта функция желудка как хранилища пищи сильно развита у травоядных животных, которые едят траву с большим содержанием целлюлозы. Молодой вол или корова зависят от бактерий, которые населяют их пищеварительный тракт и расщепляют целлюлозу на более простые вещества. Этот

процесс требует времени, и, следовательно, пище необходимо оставаться в желудке довольно продолжительное время, подвергаясь брожению. Желудок крупного рогатого скота по этой причине чрезвычайно большой, вмещает до 300 литров, и разделен на четыре отдела. В двух больших пища хранится, и здесь бактерии делают свою работу.

Вначале травоядные животные торопливо глотают траву, едва ее пережевав, но после предварительного хранения ее в двух первых отделах желудка отрыгивают остатки (теперь это называется «жвачка») и тщательно их пережевывают. Когда они снова ее проглатывают, она проходит в последние отделы желудка.

Нижняя часть нашего пищеварительного тракта также заполнена бактериями, которые обычно не наносят вреда и даже осуществляют определенные полезные функции. Они, например, производят множество витаминов в количествах больших, чем сами в состоянии использовать, и мы получаем избытки в качестве компенсации за их проживание в пашем организме. Несомненно, если бы мы могли хранить пищу в своем пищеварительном тракте достаточно долго, они также расщепляли бы для нас и целлюлозу, но мы этого

не делаем, следовательно, и они не делают этого. Целлюлоза проходит через наш пищеварительный тракт без изменений, поэтому мы не можем существовать, питаясь одной лишь травой, если только сначала не пропустим ее через крупный рогатый скот, а уж потом съедаем мясо и пьем молоко.

В то время, когда пища хранится в желудке, его стенки подвергаются перистальтическим сокращениям. Если сфинктеры с обоих концов закрыты, пища должна оставаться в желудке, и перистальтическое действие служит лишь для того, чтобы тщательно перемешать пищу с пищеварительными соками, производимыми этим органом. Из-за газов, которые обычно скапливаются в желудке, такое «взбалтывание» пищи может сопровождаться бульканьем, иногда называемым урчанием желудка.

После того как желудок некоторое время остается пустым, перистальтические сокращения начинаются снова, и урчание тогда может быть гораздо громче. Газ, который теперь занимает большую часть объема желудка, сжимается в процессе сокращений, и его давление на желудочные стенки дает ощущение боли, которую мы называем голодные спазмы.

Внутренняя поверхность желудка покрыта слизистой оболочкой, в которой размещаются многочисленные (до 35 миллионов) крошечные железы, которые секретируют жидкость, называемую *желудочный сок.* Этот сок — необычная жидкость организма. Дело в том, что он содержит до 0,5 процента соляной кислоты. Эта кислота была открыта еще в Средние века вместе с другими сильными неорганическими кислотами и долго считалась типичным продуктом неорганического мира. Ее существование среди нежных тканей организма было впервые открыто в 1824 году и повергло в шок биологов.

Сильные кислоты сами по себе усиливают распад белков и углеводов на составляющие вещества; первые исследования желудочного сока подсказывали, что соляная кислота — это пищеварительный фактор. Позднее был открыт белок, названный *пепсин* (от греческого слова «пищеварение»), который, как оказалось, гораздо более эффективно расщепляет белки, чем только одна кислота. Это был один из первых открытых ферментов. Второй фермент *ренин* в основном воздействует на молоко, сворачивая его, в результате чего из раствора выделяется белок.

Именно белок главным образом расщепляется

во время пищеварительного процесса в желудке. Разумеется, желудочный сок содержит и фермент, способный расщеплять жиры, называемый *липаза* (по-гречески — «жир»). Однако этот фермент довольно слабый, и, даже не будь он таким, все равно не смог бы эффективно действовать в кислотных условиях желудка. (Механизм человеческого организма настолько удивителен, что им не перестаешь восхищаться, но все-таки он не совершенен. Существование ферментов в таких условиях, которые автоматически делают их бесполезными, — один из примеров этого несовершенства.)

Кислотная природа содержимого желудка знакома всем нам по бешеной активности рекламных кампаний. Зачастую у нас создается представление, что содержимое желудка вовсе не должно быть кислотным, но конечно же кислотность желудочного сока вполне естественна и благотворна. Верно, что временами кислотность бывает выше, чем обычно (гиперкислотность), тогда может возникнуть чувство дискомфорта. При таких условиях скапливается газ, и давление на стенки желудка возрастает. Возникает боль, как в случае с голодными спазмами, но гораздо острее — чего вполне достаточно, чтобы напугать

человека мыслью о том, что у него сердечный приступ. (Желудок расположен выше, чем полагает большинство людей. Попросите кого-нибудь положить руку на желудок, и могу поспорить, он положит руку на пупок или чуть выше. В действительности желудок находится на уровне нижних ребер, а его верхний отдел как раз под сердцем.) Облегчение обычно наступает при избавлении от некоторого количества газа через пищевод и рот. Временами пузырек газа в своем стремлении вырваться на свободу несет с собой вверх в пищевод и кислотный желудочный сок. Желудок не чувствителен к кислоте, но пищевод — наоборот. Болезненное ощущение в груди, которое возникает в результате, — это та самая знакомая всем «изжога».

Обычный способ борьбы с повышенной кислотностью — это проглотить какое-нибудь вещество, которое частично нейтрализует кислотность желудочного сока. Самое знакомое средство — это двууглекислый натрий (или сода пищевая). При нейтрализации кислоты она образует углекислый газ, который устремляется вверх, увлекая за собой другие пузырьки газа, и, когда они вырываются наружу, наступает облегчение.

Но не только газ может вырываться наружу из

желудка. В крайних случаях желудок может сам выбрасывать содержимое. Это — рвота. При рвоте пилорический отдел желудка (привратник) резко сжимается, в то время как привратниковый сфинктер между ним и нижними отделами пищеварительного тракта остается накрепко закрытым. Содержимое желудка может двигаться только вверх и вперед через неожиданно расслабившийся сердечный сфинктер. Рвота конечно же может быть во благо, поскольку служит неким природным желудочным насосом, предназначенным для опустошения желудка от его содержимого, что может оказаться вредным, если позволить ей продолжаться долгое время. Существуют лекарства, которые активизируют рвотный рефлекс и ускоряют процесс опустошения желудка. Это — рвотные средства.

Ощущение тошноты, предшествующей рвоте, вызывает довольно странное чувство. Равномерное укачивающее движение стимулирует его, и некоторые люди более чувствительны к нему, чем остальные. Те, кто испытали на себе морскую болезнь — тошноту, возникающую в результате медленного неослабевающего покачивания корабля на волнах, — прекрасно знают ощущение крайней никчемности жизни, которое может

быть вызвано этим состоянием. Само слово «тошнота», между прочим, происходит от греческого слова «корабль».

Когда рвота продолжается долго, например при инфекциях, поражающих пищеварительную систему (желудочный грипп или подобные заболевания, от которых врачи теперь отделываются устрашающим, включающим в себя все термином «вирус»), это состояние может истощить организм, потому очень опасно.

И дело не только в потере пищи, а скорее в потере организмом жидкости, а также неорганических ионов, которые она содержит.

Сопротивляемость самой желудочной стенки сильным кислотам, которые производят ее железки, и способность пепсина растворить мясо долгое время озадачивали биологов. Кусок желудка другого животного, использованный в пищу, переваривается в желудке едока довольно быстро. Объяснение этого парадокса, очевидно, заключается в том, что при жизни секрет слизистой оболочки желудка (несколько противокислотный по природе) обволакивает и защищает стенку.

Такая защита не всегда совершенна, в особенности когда кислотность желудочного сока

постоянно повышена, и даже скорее когда человек особенно склонен испытывать напряжение и беспокойство. При этих условиях часть желудочной стенки может раздражаться и даже изъязвляться под действием желудочного сока. Термин «язва» применим к любому поражению кожи или слизистой оболочки, которое сопровождается разрушением ткани и выходом жидкости, но в разговорной речи этот термин почти всегда подразумевает изъязвления внутренней оболочки пищеварительного тракта. Та язва, что находится в желудке, иногда называется язвой желудка.

Имеются также и случаи, когда желудочный секрет фактически не содержит соляной кислоты. Такое состояние называется *ахлоргидрия* (что по-гречески означает — «нет соляной кислоты»). Это не обязательно опасно, поскольку, хотя ахлоргидрия и снижает эффективность переваривания в желудке, организм может существовать, используя другие части пищеварительного тракта. Люди с перпициозной (злокачественной) анемией, однако, неизбежно имеют признаки ахлоргидрии; и прежде чем счесть не важным недостаток кислоты, необходимо исключить возможность перниционзной анемии.

Поджелудочная железа и печень

Если пища находится в желудке, пилорический сфинктер остается закрытым до того момента, пока там не останется ни одной значимой частички в твердом состоянии. Однако постепенно эффект желудочного переваривания и добавление желудочного сока целиком переводят пищу в жидкое состояние. Тогда она превращается в пищевую кашицу, или *химус* (по-гречески «сок»). Только тогда пилорический сфинктер расслабляется, и химус, движимый перистальтикой, рывками проходит в следующий отдел пищеварительного тракта. Химус фактически стерилен, поскольку кислая среда в желудке убивает любые бактерии, изначально присутствующие в пище, правда, бактерии появятся вновь и в гораздо большем количестве в нижнем отделе пищеварительного тракта.

Химус, покинув желудок, попадает в кишечник. Кишечник разделен на две части, относительно длинный его отрезок, который идет за желудком, называется *тонкая кишка*, за ней следует относительно короткий отрезок, называемый *толстая кишка.* Понятно, что такое деление кишечни-

ка было произведено не по длине, а скорее по ширине кишок. Тонкая кишка диаметром всего 1,5–2 дюйма в том месте, где выходит из желудка, а потом несколько сужается. Диаметр толстой кишки — до 2,5 дюйма.

Длина тонкой кишки 20 футов и более (во всяком случае, у мертвого человека; при жизни она может сжиматься и быть гораздо короче). Для того чтобы поместиться в брюшной полости, она замысловато свертывается, но и в таком состоянии заполняет большую часть брюшной полости. Такая длина кишечника необходима, поскольку именно здесь выполняется главная задача пищеварительного процесса. При крайней нужде вполне можно обойтись без пищеварительного процесса, начинающегося во рту (переваривание небольших количеств углеводов) и продолжающегося в желудке (переваривание гораздо большего количества белков). В действительности, когда по какой-то причине бывает необходимо удалить часть или даже весь желудок, больному удается вести сравнительно нормальную жизнь. Конечно, лишившись возможности хранить пищу в желудке, пациент должен есть мало и часто, но, во всяком случае, это не так уж и трудно.

Процесс переваривания, начавшийся во рту

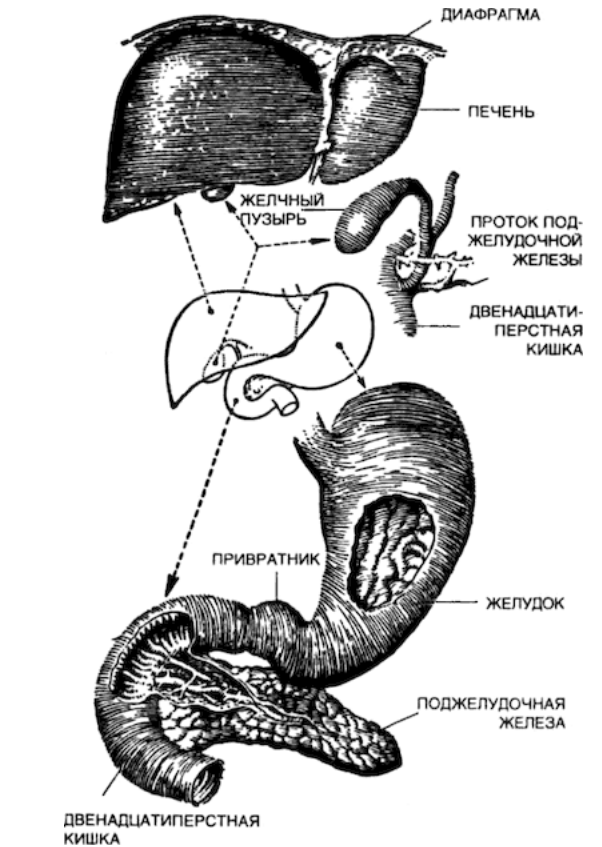
и в желудке, ни в коем случае не происходит полностью. Хотя некоторые пищевые продукты и распадаются на более простые составляющие, эти вещества еще недостаточно просты, чтобы быть абсорбированными. (Впрочем, небольшие неорганические ионы вполне могут абсорбироваться. Ионы цианида способны абсорбироваться еще во рту — с печальными последствиями, поскольку это смертельный яд.) В тонкой кишке процесс переваривания завершается, и именно здесь, особенно в ее нижней половине, происходит процесс абсорбции. Это еще одна причина столь большой длины тонкой кишки — необходимость удостовериться, что абсорбция достаточно полная. (Травоядные животные с тяжелым для переваривания рационом питания имеют пропорционально более длинный кишечник. Длина тонкой кишки у коровы может доходить до 100 футов. Плотоядные животные имеют тонкую кишку соразмерно более короткую. Человек, всеядный, в этом отношении занимает промежуточную позицию.)

Первые 10 или 11 дюймов тонкой кишки — это *двенадцатиперстная кишка.* Как появилось такое название у кишки, длина которой не достигает 12 дюймов, становится ясным, когда вы вспомните,

что в древности длину измеряли не в дюймах, а в пальцах — перстах (во внимание бралась ширина пальца). Двенадцатиперстная кишка — это отрезок тонкой кишки, который получает первичный шок от высококислотного химуса, когда тот выливается через пилорический сфинктер, и ее задача — нейтрализовать эту кислоту. По этой причине нейтрализующие кислоту секреты выливаются в двенадцатиперстную кишку из двух больших желез. Несмотря на это, внутренней поверхности двенадцатиперстной кишки, как и оболочке желудка, постоянно грозит опасность появления язвы. Поскольку язвы желудка и двенадцатиперстной кишки вызывает кислый, содержащий пепсин желудочный секрет, их иногда называют общим термином «язва желудка и двенадцатиперстной кишки».

Из двух желез, секрет которых нейтрализует кислоту химуса, меньшая — поджелудочная железа. Это вторая по величине железа человеческого организма, она красноватого цвета, 5–6 дюймов длиной и по форме напоминает морковь. Она весит около 3 унций и располагается вдоль задней стенки брюшной полости, позади нижнего отдела желудка. Широкий конец этой «морковки» загибается вверх рядом с изгибом

двенадцатиперстной кишки.



Сок поджелудочной железы (0,7 литра ежедневно) проходит через канал, который открывается в двенадцатиперстную кишку в точке, расположенной на 1,5 дюйма ниже пилорического сфинктера.

Сок поджелудочной железы содержит множество ферментов. Некоторые из них пригодны для разрушения различных видов пищевых продуктов. Среди них есть фермент, расщепляющий крахмал, несколько сходный с подобным ферментом, находящимся в слюне. Прежде его называли амилопсин, но теперь обычно называют *панкреатическая амилаза.* Также имеется фермент, расщепляющий жиры, прежде носивший название стеапсин (по-гречески «животный жир»), а теперь — *панкреатическая липаза.* Из нескольких расщепляющих белки ферментов сока поджелудочной железы первым был открыт *трипсин* (от греческого слова «тереть», потому что для его приготовления требуется предварительное основательное перетирание ткани поджелудочной железы с глицерином). Есть еще один — *химотрипсин* (что по-гречески означает «трипсин в соке»). Трипсин и химотрипсин совместными усилиями продолжают работу, начатую пепсином в желудке.

Однако ни трипсин, ни химотрипсин не могут осуществлять свои функции в кислотном окружении. Кислотность желудочного химуса частично нейтрализуется соком поджелудочной железы, а частично жидкостью, выделяемой второй железой, самой большой в человеческом организме — *печенью.* Печень — это орган красно-коричневого цвета, весящий 3–4 фунта. Она располагается над желудком и справа от него, сразу под диафрагмой, и частично спрятана под нижними ребрами. Она состоит из четырех долей, из которых самая большая та, что располагается правее.

Печень, по-видимому из-за своих внушительных размеров, пользовалась особым уважением древних, которые часто считали ее вместилищем жизни. Еще во времена Шекспира сложилась поговорка о том, что состояние печени символизирует эмоциональное состояние.

Секрет, который образует печень, из-за желтоватого оттенка называется *желчь.* Греческое название желчи — «холе» — используется во многих медицинских терминах. Это слово используется в поговорках, подтверждая веру древних в огромную важность этой жидкости. Греки считали ее двумя из четырех самых важных жидкостей организма, потому что предполагали ее суще-

ствование в двух разновидностях — одна черного цвета, другая — желтого. Древние греки считали, что человек, страдающий избытком черной желчи, — меланхолик, а тот, у кого избыток желтой желчи, — холерик. Это не соответствует истине, существует только одна разновидность желчи, хотя она может быть разного цвета в зависимости от свежести. Однако предполагаемая связь печени и эмоционального состояния очевидна, поскольку мы до сих пор пользуемся этими словами для обозначения склонности к печали или гневу соответственно. Мы используем слово «желчный» как синоним слова «холерический».

Желчь направляется к двенадцатиперстной кишке по печеночному протоку, и в среднем ее вырабатывается около 0,5 литра за день. Желчь секретируется непрерывно, и между приемами пищи некоторое количество ее сохраняется в специальном мешке, называемом *желчный пузырь* (термин «пузырь» мы используем для названия любого эластичного мешка). Желчный пузырь располагается сразу под правой долей печени и представляет собой грушевидный орган длиной 2–3 дюйма. Он обладает вместимостью всего лишь около 50 миллилитров, но вода реабсорбирована печенью из желчного пузыря, поэтому

желчь хранится в нем 10–12-кратной концентрации. Следовательно, желчный пузырь вмещает около 600 миллилитров обычной растворенной желчи, или приблизительно дневной ее запас. Когда пища попадает в двенадцатиперстную кишку, мышечные стенки желчного пузыря сокращаются, и его содержимое проталкивается через пузырный проток, который соединяется с печеночным протоком, образуя общий желчный проток. Общий желчный проток соединяется с главным протоком поджелудочной железы как раз перед входом в двенадцатиперстную кишку, которая таким образом получает смесь обычной желчи и сока поджелудочной железы.

То, что желчь в желчном пузыре находится в концентрированном состоянии, таит опасность для здоровья. Желчь богата холестерином (жирным веществом с неприятным запахом, которое откладывается на внутренних стенках артерий при атеросклерозе). Холестерин обладает плохой растворимостью, а поскольку желчь концентрированна, может случиться так, что маленькие кристаллы холестерина начнут преципитировать — осаждаться. У некоторых людей (по причине, пока не установленной) наблюдается тенденция агрегации этих кристаллов

в порядочного размера желчный камень. Если он вырастает достаточно большим и блокирует пузырный проток, препятствуя оттоку желчи, могут возникнуть сильные боли. Иногда решением этой проблемы бывает полное удаление желчного пузыря. Эта операция не наносит большого вреда больному и избавляет его от боли.

Желчь не содержит никаких ферментов, но тем не менее важна для пищеварения. Она содержит желчные соли, обладающие очищающим действием. Желчь заставляет жир распадаться на маленькие глобулы — шарики, более или менее постоянно смешанные с водой. Это эмульсия по образу и подобию гомогенизированного молока. Это важно, потому что ферменты растворимы в воде и могут действовать только на вещества, которые растворены в воде или, по крайней мере, хорошо с ней перемешаны. Липаза поджелудочной железы при атаке на жиры может в лучшем случае осуществить свою задачу лишь на кромках капелек жира там, где они контактируют с водой. Будь эти капельки большими, жир внутри их остался бы в неизменном состоянии; только при очень маленьких, обработанных желчью капельках жира его переваривание становится эффективным. Без притока желчи большая часть

жиров, поступающих с пищей, осталась бы непереваренной.

Желчь содержит множество отходов, от которых организм избавляется через печень и пищеварительный тракт. Именно в печени, к примеру, молекулы гемоглобина распадаются после естественного разрушения состарившихся эритроцитов. Гем, частьмолекулы, содержащая железо, отламывается от белковой части. Остается желчный пигмент, названный так потому, что остатки отходов гема окрашены в красный, в оранжевый, в зеленый цвета, их смесь придает желчи общий желто-зеленый цвет. На всем дальнейшем пути в кишечник пища сохраняет цвет желчных пигментов, и, когда в конечном счете выводится из организма, она все еще красновато-коричневого цвета.

Небольшое количество желчного пигмента абсорбируется в кровь и выводится с мочой. Это придает как плазме крови, так и моче светло-желтый или янтарный цвет. При определенных условиях ненормально высокое количество желчного пигмента попадает в кровь. Иногда это происходит потому, что эритроциты разрушаются с необычайно большой скоростью и скорость образования желчных пигментов тоже

возрастает. Или же проходимость через желчный ход затруднена до такой степени, что желчный пигмент не может выводиться обычным путем, а вместо этого должен искать себе выход через кровь. Какой бы ни была причина, желто-зеленый цвет желчного пигмента тогда проявляется в окраске кожи и слизистых оболочек, а также белков глаз, что придает человеку неприятный болезненный желтоватый оттенок. Это состояние известно как *желтуха*, от слова «желтый».

Печень — основная химическая фабрика организма с возможностью осуществлять множество химических реакций. Холестерин и желчные пигменты не единственные ее экскреторные продукты. Любое химическое вещество, попадающее в организм, которое не может подвергаться распаду ради высвобождения энергии или стать составным элементом структуры организма, вполне вероятно, закончит свое существование детоксикацией в печени. Печень обычно делает это, добавляя к химикату некое вещество, которое повышает его растворимость и ускоряет удаление из организма вместе с мочой. Это конечно же делает печень уязвимой к повреждениям, если приток чужеродного химического вещества слишком велик, чтобы легко с ним справиться.

Пары четыреххлористого углерода (который используется для сухой чистки) или хлороформа (иногда используемого в качестве анестезирующего средства) могут нанести серьезный ущерб печени.

Когда ткань печени повреждена или разрушена, ее активные клетки заменяются жиром и соединительной тканью. Это придает печени желтоватый цвет вместо изначального красновато-коричневого. Такое состояние называется *цирроз печени.* Подобное нарушение может иметь много причин, но чаще всего ассоциируется со злоупотреблением алкоголем. По-видимому, печень в своей непрерывной попытке борьбы с алкоголем медленно и необратимо разрушается.

Абсорбция – всасывание

Химус, смешанный с соком поджелудочной железы и желчью, выходит из двенадцатиперстной кишки и попадает прямо в кишечник, подталкиваемый перистальтикой. Кишечник несколько произвольно подразделяется на два отдела. Первый отдел, составляющий приблизительно $^{2}/_{5}$ всей его длины, — это топкая кишка (обычно у трупов она пустая). Оставшиеся $^{3}/_{5}$ — подвздошная кишка.

По всей внутренней поверхности кишечника располагаются многочисленные крошечные выступы, что делает ее похожей на очень мягкое махровое полотенце. Эти выступы, называемые *ворсинки*, придают внутренней поверхности кишок бархатистость. Их существование значительно расширяет площадь поверхности кишечника и усиливает абсорбцию. Кроме того, они находятся в непрестанном движении, так что жидкость в непосредственной близости поддерживается в состоянии непрерывного взбалтывания, что еще сильнее ускоряет абсорбцию. У основания каждой ворсинки располагается группа клеток, которые секретируют в пищеварительный тракт

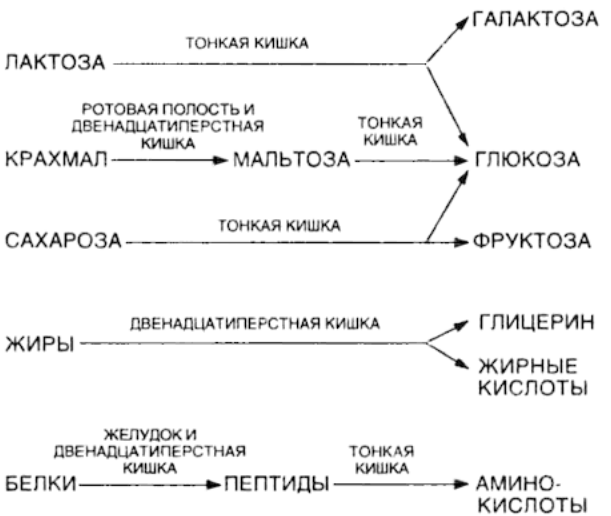
еще одну жидкость. Это *железы* кишечника, а жидкость, которую они секретируют, — *кишечный сок.*

Кишечный сок содержит ряд ферментов, предназначенных для разрушения продуктов, возникающих в процессах переваривания пищи, которые уже имели место. Даже ферменты сока поджелудочной железы не завершают задачу переваривания пищи до того момента, пока продукты не станут достаточно просты для всасывания. И теперь процесс подходит к концу. Так, кишечный сок содержит множество *пептидаз* — ферментов, назначение которых — расщеплять белковые фрагменты (пептиды), оставшиеся после воздействия пепсина и трипсина. Эти фрагменты разрушаются до элементарных белковых строительных блоков — аминокислот.

Углеводы распадаются во рту и двенадцатиперстной кишке (под действием слюнной амилазы и амилазы поджелудочной железы) на простую составляющую, называемую мальтозой. В кишечном соке имеется фермент *мальтаза*, который разрушает каждую молекулу мальтозы на две половины, еще более простой продукт с названием глюкоза. Еще один фермент, *сахароза*, разделяет молекулы обычного столового саха-

ра (сахарозы) на две половины с образованием глюкозы и фруктозы, а третий фермент, *лактаза*, расщепляет молекулы сахара в молоке (лактоза) на глюкозу и галактозу. Присутствует даже слабая липаза, на случай, если что-то осталось после липазы поджелудочной железы, и таким образом молекулы жиров расщепляются на глицерин и жирные кислоты.

Общий пищеварительный процесс можно свести в следующую таблицу:



Вещества в правой колонке могут всасываться поверхностью тонкой кишки, и, когда это происходит, мы, наконец, можем сказать, что пища попала в организм.

В организме эти простые молекулы служат строительными блоками для молекул больших и гораздо более сложных. Они могут выстраивать углеводы, жиры и белки человеческого типа (*ассимилиция*), то есть складываются в комбинации и сочетания, отличные от тех, что существовали в исходном организме или организмах, из которых была получена пища. (Однако все живые существа на земле, от мельчайшего вируса до огромнейшего кита, различаются по внешнему виду, а состоят из элементов, которые содержат одни и те же строительные блоки. Это означает, что любой тип организма может служить пищей другому типу, в прямом или переносном смысле. В гастрономическом смысле все живое определенно и неопровержимо едино.)

Те же самые простые молекулы, что могут ассимилировать в тканевую структуру, способны также сочетаться с кислородом и в конце концов образовывать воду и двуокись углерода плюс азотосодержащие отходы. Когда такое происходит, высвобождается энергия, которая может быть

использована для придания силы мышцам и для множества других энергоемких задач организма (включая ассимиляцию, для которой требуется химическая энергия).

Всасывание посредством кишечника в принципе схоже с абсорбцией через легкие. Внутри каждой ворсинки находится сеть капилляров, в которые проходят конечные продукты распада белков и углеводов. Кроме того, имеются лимфатические капилляры, в которые доставляются продукты распада жиров. Капельки жира превращают чистую лимфу в этих капиллярах в субстанцию, по виду напоминающую молоко, из-за чего эти капилляры были названы млечными.

Капилляры ворсинок собираются в венулы, затем в вены и в конечном счете выливаются в *воротную* (портальную) вену (от латинского глагола «нести»), широкую, короткую вену, которая начинается сразу за поджелудочной железой и проходит к печени. Ее функция, как следует из названия, — перенос общих продуктов распада углеводов и аминокислот к печени. В печени воротная вена разделяется на сосуды (синусоидные капилляры), которые значительно шире обычных капилляров и образуют сеть по всей печени. Вдоль стенок синусоидных капилляров

располагаются купферовские клетки (названные так в честь немецкого анатома, который открыл их в середине XIX века). Они — составляющие ретикуло-эндотелиальной системы и действуют как уборщики, фильтруя из крови любой мусор, в частности бактерии, которые проникают через стенку кишечника.

Кроме того, клетки, окаймляющие синусоидные капилляры, лишают кровь избыточного запаса глюкозы и аминокислот. Глюкоза собирается вместе, образовывая большие крахмалоподобные молекулы — *гликогены* («гликоген» по-гречески означает «порождать сахар», поскольку при необходимости способен распадаться до сахара). Любая присутствующая фруктоза или галактоза сначала преобразуется в глюкозу, а затем в гликоген. Гликоген остается в печени, и кровь, пройдя через нее, содержит лишь небольшое и неизменное количество глюкозы. Аминокислоты поглощаются клетками печени и объединяются в белковые молекулы, и кровь, выходящая из печени, также содержит приличное их количество.

Миновав печень, кровь снова собирается в печеночную вену, которая впадает в нижнюю полую вену и таким образом входит в большой круг кровообращения. По мере того как

кровь проходит по капиллярам тканей, а плазма просачивается через стенки капилляров и становится межтканевой жидкостью, различные клетки организма поглощают глюкозу, которой насыщает кровь печень, и разлагают ее, высвобождая энергию. Они также абсорбируют белки, разрывают их на части и строят из них особые разновидности. Между приемами пищи, когда требования клеток истощают запас глюкозы, который немедленно не восполняется новой глюкозой из кишечника, печень черпает ее из своего резервного запаса гликогена. Гликоген, сохранявшийся в изобильные времена сразу после приема пищи, теперь разлагается на глюкозу и понемногу поступает в кровоток.

Организм в определенных пределах превращает одну форму питательных веществ в другую. Для примера: печень может только хранить гликоген, которого хватит почти на 18 часов сидячей работы. Если глюкоза продолжает поступать в печень, после того как та уже переполнена гликогеном (что у хорошо питающихся индивидов случается слишком часто), она превращается в жир и хранится в этом состоянии. Жир — это более концентрированная форма химической энергии, чем гликоген, и он может храниться в

неограниченных количествах. Когда в результате однодневного или более продолжительного голодания запас гликогена в печени сводится на нет, организм может обратиться к своим жировым запасам как к источнику глюкозы крови.

Жир хранится в клетках ткани, похожей на соединительную. Он собирается в капельках внутри клеток до тех пор, пока они не станут чуть больше крошечных бокальчиков жира, окруженных топкой полосой протоплазмы. Скопление таких клеток образует жировую ткань.

Жировая ткань — это естественный компонент организма, составляющий примерно 15 процентов веса человека нормального телосложения. Безусловно, у полных людей содержание жировой ткани может легко перевалить за половину общего веса человека. Только в результате продолжительного голодания тело лишается жировых запасов, и человек выглядит истощенным.

Нормального количества жировой ткани хватит человеку для того, чтобы поддерживать жизнь без еды в течение месяца, при условии, что воду он пьет в изобилии, а также обеспечен витаминами и минералами. Жировая ткань дает только калории, и вполне возможно, что резерв-

ный запас микроэлементов, таких, как витамины и минералы, угрожающе низок, независимо от того, насколько хорошо он может быть снабжен калориями.

Тучные люди имеют запас калорий, запрятанный то там, то тут по всему организму, которого хватило бы на целый год, по это не означает, что они могут протянуть год даже при условии обеспечения водой и микроэлементами (включая минимальный протеин). По многим причинам, как физическим, так и психологическим, человек испытывает чувство голода и требует пищи, даже если его жировой запас более чем достаточен. Отчасти по этой причине потеря веса с помощью диет — столь длительная и мучительная процедура — так часто заканчивается провалом.

Жировая ткань служит целям отличным от простого хранилища пищи. К примеру, она плохой проводник тепла. Откладываясь в подкожном слое, жировая ткань служит изолирующим одеялом, предохраняющим от холода. Из-за того что мы лишены реального мехового покрытия, это недостаточная защита вне тропической зоны, и вдобавок к жировой ткани требуется одежда. Однако кит, всегда окруженный водой при температуре близкой к замерзанию, и без мехового

покрытия выживает из-за слоя жира (ворвани) толщиной до 6 дюймов. Другие теплокровные животные, которые большую часть своего времени проводят в море, также хорошо снабжены подкожным жиром.

Как ни странно, подкожного жира больше у женских особей, чем у мужских, и жир у них распределен ровнее. Женщины, возможно, почувствуют легкое раздражение, если сказать им, что они жирнее мужчин (не толще, а жирнее, ведь вы поняли, в чем отличие), но именно ровный подкожный слой жира сглаживает изгибы женского тела — последствие, которое, как я смею полагать, вполне удовлетворительно для каждой женщины. Единственное, что может вызывать раздражение, — подкожный жир в значительной степени скапливается на ягодицах. Это явление доходит до вызывающих удивление крайностей у представительниц определенных групп, таких, как готтентоты Южной Африки. Женщины готтентотов могут отращивать себе ягодицы, похожие на горбы верблюда, с подобной же структурой и назначением. Подобное образование, называемое стеатопигия (что по-гречески означает «жирная ягодица»), полезно для того, чтобы женщина смогла пережить суровую зиму,

и, несомненно, привлекательно для мужчин-готтентотов.

Жировая ткань также обладает протективной (защитной) функцией. Она служит подушкой, которая смягчает удары, и особенно полезна в качестве смягчающей поддержки для органов, таких, например, как почки.

Жир также хранится в сальнике — пленочном мешке, окружающем желудок. Малый сальник окружает желудок со стороны печени, большой сальник укрывает другую сторону желудка и свисает вниз с брюшной стенки, наплывая на кишечник, подобно фартуку. Именно в этом большом сальнике хранится жир, избыток которого в этом месте способствует образованию «брюшка», которое появляется у многих индивидов среднего возраста.

Сам кишечник, между прочим, окружен двойным пленочным мешком — *брюшиной*, или перитонеумом (от греческого «растянутый»). Он служит для ограждения внутренних органов от инфекции, и они напоминают продукты в супермаркете, которые упаковывают в пластик для лучшей сохранности. Сама брюшина может, конечно, подвергаться инфекции (перитонит) с серьезными последствиями. В дни, когда

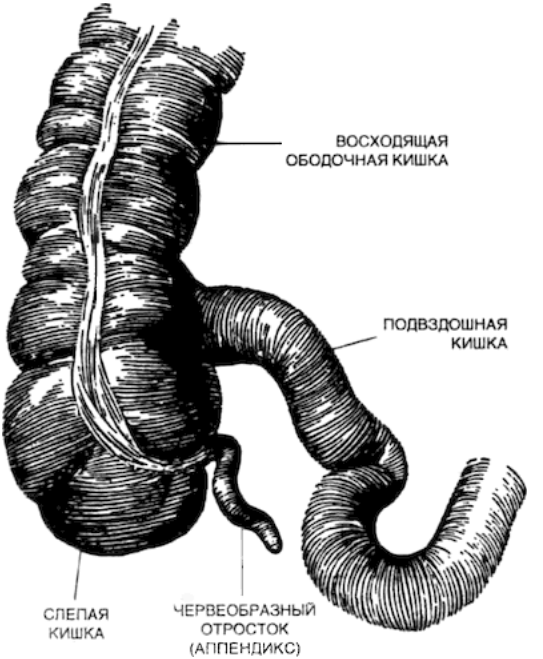
хирургия была далека от современной, любая рана или разрез в брюшной области почти неизбежно приводили к перитониту. Современные асептические процедуры снизили опасность, а использование эффективных антибиотиков для борьбы с воспалением, в случае его возникновения, тоже внесло неоценимый вклад.

Ободочная кишка

Пище требуется около трех часов, чтобы пройти по тонкой кишке, и в процессе этого она оказывается у входа в последний важный отрезок пищеварительного тракта, толстую кишку. Длина толстой кишки приблизительно 5 футов, и ее часто называют ободочной кишкой, по-гречески она называется *колон* (и поэтому мы называем воспаление толстой кишки колитом, а боль, вызванную растяжением кишечника под действием газов, коликой). Основная часть толстой кишки разделена на три порядочного размера области, в зависимости от направления потока ее содержимого. Тонкая кишка входит в толстую в нижней части организма с правой стороны, рядом с пахом. Из этой точки толстая кишка идет вверх, к нижней части грудной клетки с правой стороны, и этот отрезок называется *ободочная кишка.* Затем толстая кишка делает поворот под прямым углом налево и идет под печень, желудок и поджелудочную железу, этот отрезок называется *поперечная ободочная кишка.* Потом она снова идет вниз вдоль левой стороны тазовой кости, и этот отрезок называется *нисходящая*

ободочная кишка.

Место соединения тонкой кишки с толстой — это сфинктер подвздошной кишки (то есть сфинктер между подвздошной кишкой и ободочной кишкой). Он располагается не в самой нижней части ободочной кишки, а на расстоянии приблизительно 2,5 дюйма над нижней частью, так что самый нижний участок ободочной кишки образует тупик, или глухую аллею, и называется *слепая кишка.* Вещества собираются в слепой кишке под действием силы тяжести. Для многих травоядных животных, таких, как кролики, именно это и требуется, и слепая кишка увеличена у них настолько, что составляет половину общей длины толстой кишки. Она служит хранилищем, где и продолжается процесс ферментации.



У человека то, что осталось от слепой кишки (рудимент, доставшийся от травоядных предков), не выполняет никакой особой функции, но может быть источником неприятностей. К концу слепой кишки присоединен небольшой придаток, который является еще одним напоминанием о когда-то большой и полезной слепой

кишке. Длина этого придатка 2–4 дюйма, а формой он очень напоминает червяка, потому и называется *червеобразный отросток слепой кишки — аппендикс* (что по-латыни означает «червеобразный»). Незначительное чужеродное тело, например апельсиновая косточка, которая избежала переваривания, может при плохом стечении обстоятельств оказаться в этом узком тупике, расположенном в несколько более просторной слепой кишке. Сначала это может вызвать раздражение, а затем опасное воспаление (аппендицит). Прежде это было смертельно опасно, сейчас удаление аппендикса (аппендэктомия) стало простой операцией, не грозящей особой опасностью перитонита.

Говорить о процессе пищеварения в толстой кишке не приходится — пищеварение закончено до этого, однако всасывание (абсорбция), особенно воды, продолжается. Организм был расточителен в использовании воды в процессе выделения разнообразных пищеварительных секретов, и потеря этой воды оказывается весьма нежелательной. По мере удаления воды содержимое толстой кишки становится все тверже и, когда достигает нижнего отрезка нисходящей ободочной кишки, уже определенно твердое.

У нижней части нисходящей ободочной кишки толстая кишка совершает S-образный изгиб, чтобы добраться до середины области тазовой кости, и этот короткий отрезок называется *сигмовидная ободочная кишка* (в форме греческой буквы «сигма»). Последние 4–5 дюймов ободочной кишки вертикальны, и это — *прямая кишка.* Отверстие прямой кишки во внешний мир — *задний проход*, или *анус* (происхождение этого слова вызывает сомнения, хотя некоторые полагают, что оно происходит от латинского слова «кольцо»). При обычных обстоятельствах анус сжат сфинктером заднего прохода, или жомом. (В действительности сфинктера два– внутренний сфинктер заднего прохода располагается чуть выше по прямой кишке.)

Твердое содержимое последнего отдела пищеварительного тракта составляют испражнения, кал (от латинского слова «отбросы»), который состоит из непереваренной пищи, фрагментов целлюлозы и подобных ей веществ, коллагена и других составляющих соединительной ткани — все это без разбора по очевидным причинам называется непереваренные остатки пищи. Испражнения содержат много бактерий, которые быстро размножаются в процессе прохожде-

ния через толстую кишку. Большинство этих бактерий безвредны, но некоторые могут быть опасными. Болезни, такие, как холера, брюшной тиф и дизентерия, стремительно распространяются через загрязненную фекалиями воду. Именно по этой причине усовершенствуются современные городские водопроводные системы, создаются эффективные системы канализации, осуществляется хлорирование воды и предпринимаются другие меры с целью предотвратить возникновение эпидемий. И наконец, испражнения содержат выделяемые печенью желчные пигменты, которые придают им цвет.

Акт избавления от фекалий называется *дефекация.* Ему способствует естественное перистальтическое действие прямой кишки, сокращение диафрагмы и мышц брюшной стенки. У младенцев этот процесс происходит в тот момент, когда прямая кишка наполняется в достаточной степени, чтобы стимулировать перистальтику. Мы с некоторыми усилиями приучаем младенцев к туалету и учим их контролировать акт дефекации.

Дефекация обычно сопровождается выделением желудочных газов. Это метеоризм. Газ сам по себе безобиден, по содержит небольшое количе-

ство летучих компонентов, образованных под действием бактерий в толстой кишке, которые имеют неприятный фекальный запах.

Если интервал между дефекациями продолжительнее обычного для какого-то индивидуума, то он страдает от запора, или *констипации* (что по-латыни означает «спрессовать»). Это происходит, когда перистальтическое действие толстой кишки медленнее или слабее требуемого. Более медленный проход пищи по кишке дает возможность извлечь из нее больше воды. Фекалии становятся тверже, чем следует, они уплотнены и спрессованы, а потому удаляются с большим трудом. Поскольку перистальтика стимулируется наличием в фекалиях непереваренных остатков пищи, каши с высоким содержанием отрубей противодействуют запору. Также можно воспользоваться определенными химическими веществами, присутствующими в натуральных продуктах (например, в черносливе) или полученными искусственным путем и включенными в патентованные слабительные средства. Стенки толстой кишки можно смазать, чтобы облегчить проход затвердевших фекалий, именно по этой причине неорганические масла, в частности касторовое, столь эффективны. Английская соль

вызывает приток воды из организма в кишечник, размягчая фекалии. И наконец, можно воспользоваться непосредственным действием теплой воды, введенной через анус (клизма).

Однако может случиться так, что толстая кишка проталкивает пищу слишком быстро, иногда из-за инфекции, которая сильно раздражает кишечник. В таком случае у жидкости мало шансов для всасывания, а фекалии водянистые. Это — понос, частый жидкий стул, или *диарея* (что по-гречески означает «сквозной поток»). Диарея, подобно рвоте, изнуряет организм, не говоря уже о той инфекционной болезни, которая, возможно, ее вызвала. В результате происходит потеря столь необходимой воды и неорганических ионов. Младенцев, которые имеют ограниченный водный запас, нелеченая диарея может легко привести к фатальному исходу.

Глава 9
Почки

Двуокись углерода и вода

Как я уже объяснял, кислород попадает в кровь через дыхательную систему, а пища — через пищеварительную. И то и другое переносится к отдельным клеткам организма с помощью системы кровообращения. Пища и кислород сочетаются в клетках, чтобы обеспечить организм энергией. Однако в этом процессе вещества, из которых состоит пища, и кислород не разрушаются. Что же касается организма, атомы, из которых состоят молекулы кислорода, и различные компоненты пищи постоянны. Они просто перестраиваются, создавая новые комбинации.

Молекулы углеводов и жиров состоят из атомов углерода, водорода и кислорода. Когда эти молекулы объединяются с дополнительными атомами кислорода (окисление), продуктами этого объединения являются углекислый газ (состоящий из атомов кислорода и углерода) и вода (состоящая из атомов кислорода и водорода). Молекулы белка гораздо более сложные по своей структуре. Они содержат не только атомы углерода, водорода и кислорода, но также многочисленные атомы азота плюс скопление атомов

серы, фосфора, железа и так далее. Белки, таким образом, в сочетании с кислородом дают не только углекислый газ и воду, по и азотосодержащие смеси, а также вещества, в состав которых входят и другие упомянутые атомы.

На все эти продукты окисления можно смотреть как на аналоги отходов, в некотором смысле как на золу, оставшуюся после того, как огонь сжег все, что горит. Процесс избавления от отходов называется *экскреция*, или выделение (от греческого слова «отделять»), и органы, первично участвующие в экскреции отходов, составляют экскреторную (выделительную) систему.

Двуокись углерода — это газ (углекислый), и у всех животных он перерабатывается, как и кислород, с тем лишь исключением, что этот газ движется в обратном направлении. У животных достаточно простых, чтобы существовать за счет прямой диффузии кислорода из богатой кислородом окружающей среды в бедные им клетки, происходит обратная диффузия двуокиси углерода изнутри клетки, богатой этим газом, во внешнюю среду, бедную углекислым газом.

Более сложные организмы со специальными органами для поглощения кислорода и с системой кровообращения для транспорта кислорода

используют те же самые приемы для экскреции двуокиси углерода. Таким образом, по мере того как клетки усваивают пищу и кислород, двуокись углерода, которая выделяется, диффундирует из клетки во внутритканевую жидкость и в конечном итоге в кровь. В определенном смысле кровь может перерабатывать двуокись углерода гораздо легче, чем кислород, поскольку углекислый газ растворим гораздо лучше. В то время как 100 кубических сантиметров воды при температуре тела растворят только 2,5 кубического сантиметра кислорода, углекислого газа в том же объеме растворится 53 кубических сантиметра. Кроме того, некоторая часть двуокиси углерода может свободно прикрепляться к участкам молекулы гемоглобина, которые не задействованы в транспорте кислорода.

Частично растворенный в воде, частично вступивший с ней в реакцию, образовав угольную кислоту, частично в соединении с гемоглобином, углекислый газ перемещается в конечном счете в капилляры, выстилающие альвеолы легких. Здесь, в то время как кислород попадает из альвеол в кровоток, углекислый газ попадает из кровотока в альвеолы. Вдыхаемый воздух содержит только 0,03 процента двуокиси углерода,

выдыхаемый воздух — около 5 процентов углекислого газа.

Выделение воды — проблема гораздо более простая. На самом деле это вовсе не проблема, поскольку вода, выделяемая при окислении пищи, присоединяется к воде, которая и так составляет 60 процентов человеческого тела. Действительно, воду нельзя считать отходами жизнедеятельности, поскольку она абсолютно необходимый компонент живой ткани, и для любого существа, живущего на сухой земле, проблема состоит не в том, как избавиться от воды, а в том, как ее сохранить. Организм, к сожалению, не может не терять воду по множеству причин. Во-первых, альвеолы водопроницаемы и всегда влажные. Они должны быть влажными, потому что диффузия кислорода и двуокиси углерода может происходить только после того, как газы растворятся в водяной пленке, покрывающей альвеолы. Сухая альвеола не будет функционировать. Выдыхаемый воздух поэтому всегда насыщен водными парами, за исключением редких случаев, когда местная атмосфера сама по себе случайно бывает насыщена водяными парами, но в этом случае наш организм теряет воду с каждым вдохом. Кроме того, мы поддерживаем температуру нашего тела

постоянной, несмотря на изменения температуры окружающей среды, во многом при помощи потоотделения. Это эффективная система кондиционирования воздуха, она может с большим размахом использовать воду, которая в этом случае потеряна для нас. В последнюю очередь вода нужна нам как растворитель, поскольку отходы возникают из белков, поэтому некоторое количество воды неизбежно теряется в процессе избавления от этих отходов.

Существуют некоторые животные, нашедшие способы сократить эти потери воды до такой степени, что воды, образующейся при окислении пищи, хватает для возмещения потерь. Такие животные (обычно адаптированные к жизни в пустыне) никогда не пьют, но прекрасно существуют на одной только пище, поскольку, прежде всего, пища в действительности никогда не бывает сухой. Растительность на 80–90 процентов состоит из воды, а в свежем мясе 70 процентов воды. Если уж на то пошло, хлеб по меньшей мере на 30 процентов состоит из воды, если он свежий, и даже столь сухой продукт, как сухие бобы, содержит более чем 10 процентов воды. Добавьте к этому воду, появляющуюся в результате окисления пищи, и вас не удивит, что

некоторым пустынным животным никогда не приходится пить.

Человеческий организм, напротив, не может сохранить достаточно воды, чтобы одна только пища адекватно восполняла жидкость. Среднестатистический взрослый теряет до 2 литров жидкости в день через легкие, кожу и в виде мочи. (При рвоте, поносе, повышенном потоотделении в жаркие дни и во время непривычно тяжелой работы он может потерять и значительно больше.) По этой причине необходимо, чтобы взрослый человек выпивал около 2 литров воды ежедневно. Обычно это не составляет труда, при условии, что вода доступна. Когда потеря воды достигает 1 процента веса тела, человек испытывает чувство жажды и не нуждается в дополнительных стимулах, чтобы пить.

Жажда, на первый взгляд, возникает, когда пересыхает глотка, а слюноотделение частично приостанавливается из-за нехватки воды. Однако более глубокая причина состоит в повышении концентрации растворенных веществ в крови. Таким образом, простое смачивание рта и горла не устраняет симптомов жажды более чем на минуту. Но введение воды непосредственно в желудок устраняет жажду, хотя рот непосред-

ственно не смачивается.

Жажда — состояние более неприятное, нежели голод, и переносится тяжелее. Это можно понять, поскольку среднестатистический хорошо питающийся человек имеет значительный пищевой запас на случай крайней необходимости, а запас воды значительно меньше. Если вода недоступна, человек приближается к состоянию коллапса, когда потеря воды переходит 5-процентную границу веса тела, и находится при смерти, когда потеря воды превышает 10 процентов веса тела. Эти показатели могут показаться более благоприятными по сравнению с показателями веса жира, который теряется во время голодания, но потеря воды происходит гораздо быстрее. Предел человеческой выносливости при жажде исчисляется днями, в то время как голодать человек может неделями. Вода при проглатывании попадает во внутренние органы довольно быстро и не менее быстро там всасывается, разжижая загустевшую кровь. Следовательно, жажда вскоре исчезнет, если попить.

А как обстоят дела с выделениями других отходов, помимо двуокиси углерода и воды, которые образуются при сочетании белков с кислородом? Как организм избавляется от использованных

атомов азота, который вслед за углеродом, водородом и кислородом наиболее распространен в белковых молекулах? Может показаться, что логичным будет дать ему возможность образовать газ и, подобно двуокиси углерода, выделять через легкие. Увы, логика тут бессильна! Образование газообразного азота — процесс, требующий таких больших энергозатрат, на которые не способен ни один организм выше уровня некоторых бактерий. А если даже такой азот и образуется, он гораздо хуже растворим в воде, чем кислород, и его транспортировка в большом количестве кровотоком создаст большую проблему.

Альтернатива этому — образование аммиака в качестве продукта, сочетающего белок с кислородом. Аммиак, подобно азоту, газ (с молекулярной формулой, содержащей атомы азота и кислорода) и может образовываться с помощью процессов, которые не требуют энергетических затрат. Более того, он чрезвычайно легко растворяется в воде, и его перемещение кровотоком не вызывает никаких проблем. И на самом деле многие морские организмы выделяют азот в форме аммиака.

Однако для нас с вами есть одна проблема, и довольно серьезная. Аммиак чрезвычайно токсичен для всех форм жизни. Тысячной доли

миллиграмма аммиака на литр крови достаточно, чтобы убить человека. Морские создания, которые выделяют аммиак, способны избавляться от него, поскольку в их распоряжении безбрежный океан, в котором можно топить газ по мере его образования. В океане аммиак образует раствор гораздо менее концентрированный, чем даже то крошечное количество, что губительно для жизни. И со временем концентрация аммиака в океане не повысится, поскольку в нем существуют микроорганизмы, которые используют аммиак, сочетая его с другими соединениями и строя из него белок.

Сухопутные существа с ограниченным запасом воды в организме не могут извлекать пользу из аммиака в качестве отхода. Многие организмы используют вместо него легкорастворимое твердое вещество, называемое *мочевина.* Молекула мочевины состоит из фрагментов двух молекул аммиака и молекулы двуокиси углерода. Использование ее в качестве отхода азота на пару процентов эффективнее, чем использование аммиака, потому что, с одной стороны, процесс образования мочевины требует энергетических затрат, с другой — мочевина гораздо менее токсична, чем аммиак, и это компенсирует

небольшую потерю эффективности.

Мочевину можно довести до подходящей концентрации. 100 миллилитров крови будет содержать до 33 миллиграммов мочевины, что в сто тысяч раз превышает количество аммиака, которое будет смертельным. Следовательно, для того чтобы выделить дневной запас мочевины, потребуется сто тысячных количества воды, которое потребуется для выделения дневного запаса аммиака. Вполне водосберегающая технология.

Бросается в глаза перемена у амфибий, которые начало жизни проводят в водной среде, а затем ведут сухопутный образ жизни. Головастик имеет жабры и хвост, потом теряет и то и другое и обзаводится легкими и лапками. Эта перемена заметна и удивительна. От нашего взгляда скрыта, и другая перемена, столь же важная, перемена, без которой все другие изменения были бы бессмысленны в том, что касается выживания. Поскольку, в то время как головастик выделяет аммиак, взрослая лягушка выделяет мочевину.

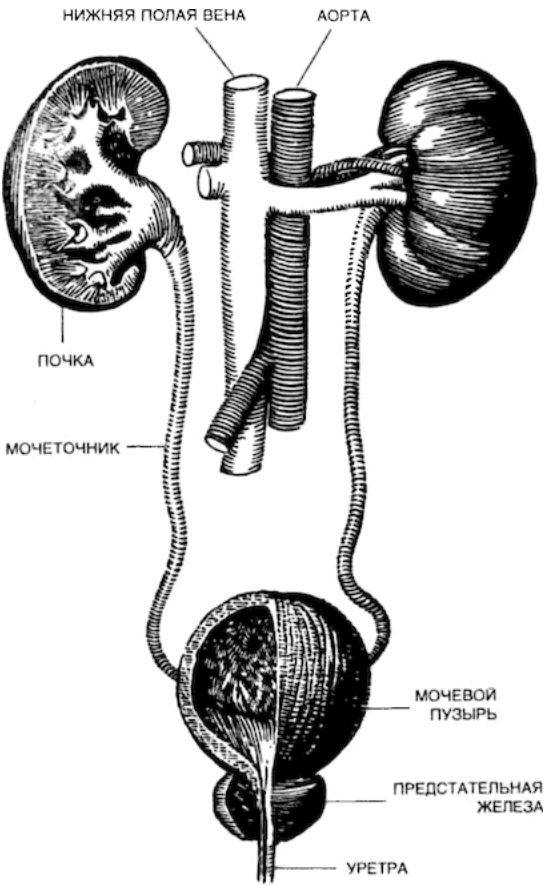
Рептилии и птицы испытывают гораздо более острую нехватку воды, чем амфибии. Амфибии откладывают свою икру в воду, а рептилии и птицы откладывают яйца на сухой земле. Запас воды внутри яйца, который находится в распо-

ряжении развивающегося зародыша, ограничен, и даже мочевина не будет служить средством избавления от азота. Мочевина относительно нетоксична, но далеко не безвредна — она смертельно опасна, если ее концентрация достаточно высока. Рептилии и птицы, следовательно, выделяют азот в форме мочевой кислоты. Это составляющая относительно сложной молекулы, состоящей из фрагментов четырех молекул аммиака и трех молекул двуокиси углерода (плюс несколько дополнительных атомов). Мочевая кислота совсем нерастворима, поэтому в крайних случаях, как в яйце, ее можно запрятать в излишки отходов организма без привязки к какому-либо значительному количеству воды.

У млекопитающих нехватка воды не столь острая. Развивающийся зародыш, для которого у птиц и рептилий нехватка воды — чрезвычайно насущная проблема, остается у млекопитающих среди богатых водой тканей матери. По этой причине мочевина подходит в качестве формы выделения азота, и человек, подобно другим млекопитающим, выделяет мочевину.

Выделительная система

Мочевина конечно же не может оставаться в крови. Она должна каким-то образом попадать во внешний мир. У многих нехордовых, а также у некоторых примитивных хордовых это делается посредством отдельных микроскопических трубочек, где вода фильтруется из плазмы. Отходы, сопровождающие воду, направляются через трубочки к поверхности тела и выбрасываются в водную окружающую среду. У позвоночных количество этих трубочек возросло до неимоверного количества, и они срослись в пару специальных органов, называемых *почками.*



ВЫДЕЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

У человека почки расположены у задней стенки брюшной полости, но выше, чем полагает большинство людей. Если попросить среднестатистического человека показать, где у него располагаются почки, он, по всей видимости, укажет на поясницу. В действительности почки находятся чуть ниже диафрагмы, напротив нижних ребер и позади печени и желудка. Правая почка, которая теснится над печенью, обычно расположена чуть ниже, чем левая. Характерно, что человеческая почка — орган темно-красного цвета, длиной 4–5 дюймов, шириной 2–3 дюйма и толщиной 1–2 дюйма. Она весит около 0,5 фунта и имеет бобовидную форму. Почки расположены вне брюшины, но поддерживаются в неподвижном состоянии на месте соединительной тканью и подушкой из жира. Они состоят из внешнего *кортекса* (коры) (от латинского слова «кора», используемого по аналогии с корой дерева как внешней оболочки) и внутреннего мозгового слоя почки, или *медуллы* (от латинского слова «мозг», которое используется по аналогии с костным мозгом для обозначения внутренней части объектов).

Почка состоит из множества фильтровальных трубочек, или *нефронов* (от греческого слова

«нефрос» — почка). Они также называются выводящими мочу канальцами. В каждой почке приблизительно миллион нефронов, и это количество значительно превышает то число, которое нам необходимо. Человек в состоянии перенести потерю множества нефронов при болезни или даже удаление одной почки целиком и при этом вести нормальную жизнь.

Кровь поступает в почки непосредственно из аорты через короткие и толстые почечные артерии. О важности почек говорит тот факт, что в любой момент почти четверть всего количества крови может проходить через них; через 1 фунт обеих почек проходит столько же крови, сколько проходит почти через 100 фунтов мускульной массы тела. Почечная артерия разделяется на многочисленные артериолы (кровеносные сосуды, которыми заканчивается ветвление артерий), каждая из которых по всей своей длине разветвляется далее на множество извитых и переплетающихся капилляров, образующих крошечный клубочек. Затем они снова образуют артериолу, которая далее разделяется на капилляры как обычно. Эти последние капилляры питают почечную ткань.

Отрезок артериолы перед этим клубочком ка-

пилляров называется *афферентная* (приносящая) *артериола* (от латинского «несущий вперед»), а отрезок за ним — *эфферентная* (выносящая) *артериола* (от латинского слова «уносящий»). Сам клубочек капилляров называется glomerulus (что по-латыни означает «клубочек шерсти», на который он и походит). Кровь выходит из почек через почечную вену к нижней полой вене.

Кровь, проходящая из артериолы к клубочку, неожиданно сталкивается с тем, что общая площадь поперечного сечения сосудов сильно увеличилась и, следовательно, скорость потока замедлилась. Для воды, ионов и маленьких растворимых молекул, таких, как моча, достаточно времени, чтобы диффундировать из клубочка в участок нефрона, который окружает клубочек капилляров подобно сжимающейся ладони. Этот замкнутый участок называется *капсула Боумена* в честь сэра Уильяма Боумена, английского хирурга, который первым ее описал.

Совершенно необходимо, чтобы кровь непрестанно фильтровалась таким образом; действительно, это настолько необходимо, что почки имеют собственное устройство для поддержания потока крови, проходящего через них с надлежащей скоростью. Если по какой-то причине

кровяное давление падает до такой степени, что поток крови, проходящий через почку, убывает и становится ниже нормального предела, почка стимулируется и продуцирует вещество, называемое ренин, которое выбрасывается в кровь. Он, в свою очередь, стимулирует сокращение артериол, снижая объем кровеносной системы и повышая кровяное давление до безопасного уровня. Там, где поток крови через почки перекрывается по причинам иным, чем низкое кровяное давление, — таким, например, как аномальное утолщение стенок почечной артерии, — почкибудут вызывать более или менее постоянное повышение кровяного давления, чтобы справиться с этим.

В трудолюбивой почке иногда возникает воспалительный процесс из-за бактериальной инфекции или других причин. Он называется *нефрит* (от греческого «воспаление почки»). Когда ткань почки подвергается перерождению или разрушению без воспаления, заболевание называют *нефроз.* Ввиду важности почек обе болезни могут быть чрезвычайно опасными. Иногда оба заболевания называют болезнь Брайта в честь английского патолога Ричарда Брайта, который впервые систематизировал их симптомы.

Жидкость, которая диффундирует из клубочка в капсулу Боумена, в этот момент покидает организм и проходит через группу трубочек, выделяющих ее во внешнюю среду. Однако работа почек этим не ограничивается; действительно важный этап еще и не начинался. То, что попадает в капсулу Боумена, — это почти сплошь нитраты плазмы. Здесь содержится не только моча, которую желательно вывести из организма, но также большое количество воды, плюс полезные ионы, плюс глюкоза, плюс множество других веществ, избавляться от которых нежелательно.

От капсулы Боумена отходит *извитой каналец* – несколько изогнутая трубочка, где вещества, присутствие которых желательно, вновь абсорбируются. К тому времени, как жидкость проходит через этот каналец, она становится относительно сконцентрированным раствором, несущим только отходы.



ТРУБЧАТАЯ СТРУКТУРА ПОЧКИ

У животных, живущих в пресной воде и, следовательно, не испытывающих нехватки жидкости, как в случае с лягушкой, извитой каналец сравнительно короткий, а повторная абсорбция воды умеренная. Удаляемая жидкость сильно разведена водой. У наземных животных, таких, как человек, повторная абсорбция воды должна быть более интенсивной, поскольку воду нельзя расходовать зря. Поэтому у человека извитой каналец разделен на две части: ведущую из капсулы Боумена — это *проксимальный извитой каналец*

— и более отдаленную часть — *дистальный извитой каналец.* Между этими двумя частями находится соединяющий их длинный, прямой и особенно узкий отрезок, который изгибается, подобно шпильке для волос. Это — *петля Генле*, названная в честь немецкого анатома Фридриха Генле, который первым описал ее.

За счет этой дополнительной длины канальца увеличивается эффективность повторной абсорбции воды и делается регулируемой. У человека около 80 процентов воды и ионов, которые выходят из капсулы Боумена, повторно абсорбируются в проксимальном извитом канальце. Такова минимальная повторная абсорбция воды, и, если человек потребляет много жидкости, дополнительное ее количество абсорбируется в петле Генле. Жидкость, выделяемая в конце концов, довольно сильно разведена водой. Однако при обычных обстоятельствах значительно больше абсорбируется в петле Генле. Чем сильнее обезвоживание человека, тем сильнее (до определенного предела) повторная абсорбция.

Из клубочка каждую минуту фильтруется 120 кубических сантиметров жидкости. Это составляет до 50 галлонов в день, но 99 процентов жидкости повторно абсорбируется через изви-

той каналец и петлю Генле. Эту способность повторно абсорбировать воду регулирует гормон, вырабатываемый *питуитарной железой*, небольшим органом у основания мозга. У некоторых индивидуумов выработка этого гормона сокращена, точно так же сокращается и способность к повторной абсорбции воды. Жидкость, выделяемая почкой (моча), следовательно, и обильна, и разведена водой.

Болезнь, характеризующаяся ненормальным количеством мочи, или *полиурией* (от греческого «много мочи»), называется *диабет* (что по-гречески означает «сифон»), потому что создается такое впечатление, что вода вливается в организм с одного конца и вскоре выходит из другого, как через сифон. Именно эта разновидность заболевания и есть *несахарный диабет* (diabetes insipidus) (от латинского слова «безвкусный»), поскольку сильно разбавленная и водянистая моча действительно безвкусна по сравнению с мочой больных другой формой диабета, которая имеет сладковатый вкус. Человек, больной несахарным диабетом, непременно должен компенсировать потерянную воду, и, следовательно, его мучает непрекращающаяся жажда.

Почки утрачивают способность повторно

абсорбировать воду при болезни Брайта. Эту способность можно компенсировать частым питьем, как при несахарном диабете. Однако сбой в функционировании почек может прогрессировать до состояния, когда мочевина не сможет эффективно фильтроваться в первую очередь из кровотока. Концентрация мочевины в крови повышается, наступает состояние, называемое *уремия* (по-гречески «моча в крови»), и в результате наступает смерть.

Но вернемся к канальцам. В конце концов, миновав два отрезка извитого канальца и петлю Генле между ними, жидкость входит в собирательную трубочку, которая в действительности всего лишь канал для отходов, куда впадают многочисленные извитые канальцы. Жидкость теперь уместно считать мочой, или *уриной* (от греческого слова неизвестного происхождения). Составляющие мочи мочевина и мочевая кислота названы так потому, что впервые были обнаружены в моче. Отдельные трубочки почки — микроскопические, но не короткие, поскольку, если их распрямить, имеют длину 1 дюйм или даже больше. Длина всех трубочек в обеих почках достигнет около 40 миль. И хотя каждая собирательная трубочка получает сущий пустяк общего

количества мочи — отдельному нефрону потребуется два года, чтобы переправить 1 кубический сантиметр мочи, — но все они, работая сообща, переправляют около 1 кубического сантиметра мочи каждую минуту.

Трубочки собираются в несколько большие протоки до тех пор, пока в итоге не сольются в *почечную лоханку* – внутреннее пространство почки. Почечная лоханка сужается в трубку длиной 10–12 дюймов, называемую *мочеточник*, который ведет вниз вдоль задней стенки брюшной полости. Сразу перед нижним отделом кишечника два мочеточника, по одному из каждой почки, входят в мешок с мускульными стенками — *мочевой пузырь.* Мочевой пузырь служит хранилищем мочи. Хотя почки образуют жидкость непрерывно, нам не нужно постоянно удалять ее, мы можем делать это с перерывами, когда нам удобно. Мышцы мочевого пузыря медленно расслабляются по мере попадания в него мочи до тех пор, пока он не увеличится в объеме, напоминая шар, выпячивающийся в брюшную полость. При максимальном расширении он может вместить более 0,5 литра мочи.

Мочеточники входят в мочевой пузырь рядом с его дном. На самом дне мочевого пузыря

находится более толстая трубка, *уретра*, или мочеиспускательный канал. Через уретру моча выводится во внешний мир. Уретра значительно различается по длине у женщин и мужчин. У женщин ее длина не превышает 1,5 дюйма. У мужчин она имеет длину почти 8 дюймов и проходит вдоль всего пениса. У мужчин рядом с уретрой находится предстательная железа, или *простата*, о которой я расскажу позже.

Выход из мочевого пузыря в уретру закрыт парой сфинктеров; по этой причине при обычных обстоятельствах моча не покидает мочевого пузыря. Однако по мере наполнения мочевого пузыря наступает момент, когда мускульная стенка начинает ритмически сокращаться, увеличивая давление жидкости на основание уретры, что дает человеку ощущение позыва к мочеиспусканию. Это происходит с возрастающей безотлагательностью до тех пор, пока не происходит мочеиспускания.

У младенцев это ритмическое сокращение вызывает рефлекс, который расслабляет сфинктер уретры и ведет непосредственно к мочеиспусканию. По мере взросления ребенок обычно учится (при более или менее принудительном ободрении родителей) контролировать этот рефлекс.

Труднее всего делать это конечно же во сне, и ребенок может мочиться в постели до тех пор, пока не приучится проситься на горшок. В некоторых случаях непроизвольное мочеиспускание в постели может продолжаться вплоть до подросткового возраста и бывает даже у взрослых.

Мочевой пузырь может воспаляться от бактериальной инфекции, такое состояние называется *цистит* (от греческого «воспаление мочевого пузыря»). Оно иногда связано с воспалением почки, но именно на воспаление мочевого пузыря пострадавший скорее обратит внимание, поскольку его самым заметным симптомом является болезненное мочеиспускание.

Моча

В день образуется и выводится приблизительно 1,5 литра мочи. Это — жидкость янтарного цвета, со специфическим запахом, не слишком раздражающим, когда моча свежая. Начнем с того, что она не содержит бактерий (конечно, при отсутствии инфекции в мочевом пузыре или почках), но, если ее оставить на открытом воздухе, бактерии наводнят ее, и последующее гниение вызовет неприятный зловонный запах.

Благодаря повторному абсорбированию воды в канальцах, моча находится в относительно концентрированном состоянии, но в лучшем случае все-таки почти на 95 процентов состоит из воды. Выделительной системе человека не по силам снизить содержание воды еще больше; и поскольку отходы должны быть удалены, пока жизнь продолжается, моча продолжает истощать водные запасы организма, даже если человек испытывает сильнейшую жажду. Именно по этой причине человек, оказавшийся в лодке в океане, не может удержаться от того, чтобы не напиться морской воды. Соль, содержащаяся в морской воде, должна выводиться, а это требует гораздо

больше воды, чем ее было в составе выпитой морской воды. В результате — обезвоживание организма и быстрая смерть. (Морская вода содержит около 3,5 процента соли и других неорганических составляющих. Моча содержит их около 1 процента, поэтому за каждый миллилитр морской воды человек должен поплатиться 3 миллилитрами мочи — проигрышный вариант.)

Основные твердые вещества, растворенные в моче, конечно, неорганические, но мочевина — вещество органическое; и именно концентрация мочевины в моче доходит до 5-процентной отметки. Фактическое количество мочевины, выделяемой за день, зависит от количества белков в рационе, поскольку именно из белка получается мочевина. При хорошем, богатом белками рационе ежедневно может выделяться более 40 граммов мочевины.

Выделяются также и небольшие количества других азотосодержаших составляющих. К примеру, мочевая кислота. Мы, в отличие от птиц и рептилий, не образуем ее из белков, но тем не менее образуем из других строительных блоков нуклеиновых кислот (основных составляющих, обнаруживаемых во всех клетках). Также креатин (от греческого слова «мышца») и креатинин

в небольшом количестве образуются при распаде белков; в частности, как следует из названия, из мышечного белка. Немного аммиака образуется в процессе образования мочи. Кроме того, есть различные неорганические ионы, продукты распада гормонов, продукты, образуемые печенью из чужеродных молекул, и так далее.

Моча служит не только хранилищем отходов, но также регулятором концентрации многих составляющих организма. Любое вещество, обычно полезное, которое присутствует в избытке, вполне вероятно, находит себе путь из организма через мочу. Однако, когда выработка того же самого вещества недостаточна, потери его с мочой снижаются, в некоторых случаях, почти до нуля. Самым наглядным примером этого может служить сдвиг в нормальной выработке гормона, называемого *инсулин.* Этот гормон, вырабатываемый поджелудочной железой, необходим для правильного распада глюкозы в организме. При недостатке инсулина накапливаются не соответствующие норме продукты распада, называемые *кетоновыми телами.*

Кетоновые тела довольно опасны, поскольку при превышении определенной минимальной концентрации они повышают кислотность крови

до такой степени, что больной впадает в кому и умирает. Если болезнь не лечить, это в конце концов неизбежно, но почки откладывают роковой день, удаляя все кетоновые тела, какие только в состоянии удалить. Для этой цели объем мочи возрастает сверх нормы, поэтому такая болезнь является разновидностью диабета (но полиурия в этом случае не столь сильная, как при несахарном диабете). Человек с запущенным и нелеченым случаем этой болезни, естественно, испытывает чрезмерную жажду и также чрезмерный голод, поскольку, хотя и принимает пищу, его организм неэффективно ее использует. Несмотря на то что хорошо питается, он непременно теряет вес.

Неэффективный способ, которым такой человек извлекает пользу из пищи, критически проиллюстрирован участью глюкозы, содержащейся в его организме. Жидкость, выходящая из клубочка, конечно, всегда содержит глюкозу, но в процессе ее прохождения через каналец вся глюкоза повторно абсорбируется так, что нормальная моча не содержит глюкозы. Однако при этой форме диабета концентрация глюкозы в крови возрастает до высокого уровня, и канальцам становится все труднее и труднее повторно абсорбировать ее. Наконец наступает момент,

когда повторная абсорбция осуществляется не полностью. Тогда говорят, что концентрация глюкозы поднялась выше почечного порога, и она появляется в моче. Присутствие формы сахара в крови, как оказалось, было открыто в древние времена, когда было замечено, что такая моча привлекает мух. Тщательные анализы должны показать присутствие сахара в моче, и такая болезнь, следовательно, называется *сахарный диабет* — по-латыни diabetes mellitus (что значит «мед»). Сахарный диабет — болезнь гораздо опаснее и встречается гораздо чаще, чем несахарный диабет. Когда говорят «диабет», обычно подразумевают сахарный диабет.

То, что с мочой выбрасываются полезные пищевые продукты, — а это малоэффективно, — не проходит без компенсации. Если позволить концентрации глюкозы в крови повышаться бесконтрольно, то вязкость крови возрастет так, что циркуляция ее нарушится, что приведет к фатальному результату. Удаление глюкозы из организма — вещь расточительная, но продлевает жизнь.

С точки зрения диагностики ценность глюкозы в моче в том, что ее присутствие может быть легко обнаружено с помощью анализа, и это верный

признак основательно запущенного диабета. Эта болезнь сейчас лечится инъекциями инсулина, получаемого от домашних животных, убиваемых в пищу, и диагностировать диабет лучше как можно раньше, до того, как глюкоза появляется в моче. Это делается с помощью анализов крови.

Присутствие других несвойственных составляющих в моче также может служить показателем химических нарушений обмена в организме; эти нарушения, к счастью, не столь серьезны, как диабет. Иногда аминокислоты, строительные блоки белка, появляются в моче в превышающем норму количестве; иногда появляются определенные продукты распада. Есть, к примеру, вещество, называемое *гомогентизиновая кислота*, которая появляется в моче некоторых людей, от рождения лишенных способности надлежащим образом расщеплять аминокислоту тирозин. Моча, содержащая гомогентизиновую кислоту, будет при определенных условиях через некоторое время приобретать черный цвет, но, несмотря на этот потрясающий факт, болезнь эта ни в коей мере не считается серьезной.

Принцип действия почек основан на том, что все отходы, которые должны быть устранены, могут вымываться из организма потоком воды.

Естественно предположить, что эти отходы растворимы в воде. К сожалению, это не совсем так. Некоторые вещества, выводимые из организма с помощью почек, не всегда растворимы в воде. К примеру, мочевая кислота. Хотя человек выводит ее из организма в небольших количествах, в моче она совершенно нерастворима. Другие млекопитающие разлагают мочевую кислоту на лучше растворимые составляющие, но приматы, включая человека, не обладают такой способностью. И опять же, некоторые неорганические ионы, обычно присутствующие в моче, могут соединяться и образовывать нерастворимые субстанции, такие, как фосфорнокислый кальций и оксалат кальция.

Тогда вопрос состоит в следующем: как выводятся эти нерастворимые вещества? Ответ состоит в том, что даже твердые вещества могут уноситься потоком воды, если присутствуют в виде достаточно небольших частиц. В моче часто содержатся микроскопические кристаллы твердого вещества, которые моча увлекает без особого труда. Эти кристаллы не имеет особой тенденции к агрегации (слипанию в единое целое) в обычном состоянии. Причины тому точно не установлены, но вполне приемлемо предположить, что отдель-

ный крошечный кристалл покрыт тонким слоем какого-либо защитного вещества, такого, как белок мукополисахарид, который удерживает их от агрегации, даже когда они приходят в контакт друг с другом. У некоторых людей это защитное устройство не срабатывает, и тогда возникает тенденция к слипанию кристаллов в почечные камни или мочевые конкременты. Они легко становятся слишком большими, чтобы проходить через мочеточник. В некоторых случаях камни из фосфорнокислого кальция (которые растут быстро) могут заполнить почечную лоханку. Камни из оксалата кальция, которые растут гораздо медленнее, зазубренные и неправильной формы, вызывают интенсивную боль (подобно во много раз усиленной и непрекращающейся боли в желудке), когда застревают в мочеточнике. Боль от почечных камней иногда называется *почечная колика* из-за этого сходства с кишечными болями, хотя не имеет никакого отношения к кишечнику.

Органические вещества также могут, хотя гораздо реже, образовывать камни. *Аминокислотный цистин* — это обычный компонент белков и наименее растворимая из аминокислот. Он иногда экскретируется в небольших количествах

в моче и может собираться, образовывая камень в мочевом пузыре. Действительно, цистин был впервые выделен из такого камня в мочевом пузыре, и его название происходит от греческого слова, обозначающего мочевой пузырь.

Мочевая кислота также может образовывать камни, и здесь возникает новая опасность. Иногда мочевая кислота откладывается в суставах конечностей, особенно большого пальца ноги, отчего возникает чрезвычайно болезненное заболевание — *подагра.* Подагра была более распространена в прошлом, нежели теперь, отчасти из-за того, что состояния, которые прежде диагностировались как подагра, теперь диагностируются как некая форма артрита.

Глава 10
Кожа

Чешуя и эпидермис

У примитивных животных, как у одноклеточных, так и у многоклеточных, внешняя поверхность контактирует с окружающей средой, и именно на внешней поверхности происходит большая часть взаимодействий с окружающей средой. Однако по мере того, как животные становились сложнее, все больше и больше таких взаимодействий осуществлялось на внутренней поверхности. Возник пищеварительный тракт и был помещен вовнутрь. Система органов дыхания и система выделения эволюционировали как внутренние органы. Лишь очень небольшая часть внешней поверхности стала иметь отношение к потреблению пищи и воздуха, а также к избавлению от отходов. Внешняя поверхность, за исключением незначительных областей, могла поэтому сохраниться для пассивной защиты.

Многие типы животных обзавелись разнообразными панцирями (оболочками), которые служили такой защитой. Эти оболочки, тем не менее, добавляли вес и снижали чувствительность животного к стимулам внешнего мира, а также ограничивали его подвижность. Хордовые,

с их внутренним остовом, могли позволить себе оставаться без панциря, и риск, вытекающий отсюда, должен был компенсироваться улучшением оперативности. Даже при этом победа беспанцирных не была быстрой. Среди беспозвоночных хордовых оболочечные обзавелись «туникой», выполняющей функцию панциря. Что же касается позвоночных, первые два класса подкрепляли свой внутренний скелет также и внешним скелетом. Фактически, как я объяснял в первой главе, кости сначала развивались не как внутренний скелет (который оставался хрящевидным миллионы лет), а как внешний панцирь. Даже у человека ключица и кости черепа унаследовали признаки этого наружного панциря, втянутого теперь внутрь и покрытого кожей.

Панцирные морские позвоночные уступили место более быстрым акулам и костным рыбам, которые избавились от панциря и вместо него полагались на скорость и маневренность, достичь которую можно было за счет снижения массы. (Но даже у классов, появившихся позднее, тенденция вернуться к защищающей безопасности панциря оставалась. Среди животных, живущих по сей день, примерами могут служить черепахи у рептилий и броненосец у млекопитающих.

Этот маневр оказался не слишком удачным с эстетической точки зрения, но все же черепахи и броненосцы выжили, поэтому мы не можем считать его совсем неудачным.)

Утрата костяного панциря не означала, что рыбы остались совершенно обнаженными и незащищенными. Взамен костей появились легкие, искусно перекрывающие друг друга чешуйки — твердые и эластичные. У наземных позвоночных образовалась несколько видоизмененная чешуя, более поверхностного типа, обладающая способностью легко сниматься и заменяться новым, находящимся внизу слоем. Лучше всего умеют это делать рептилии — и способность змеи периодически менять свой чешуйчатый покров хорошо известна. Чешуя рептилий в адаптированном виде сохранилась у теплокровных предков рептилий, птиц и млекопитающих. Их можно, к примеру, обнаружить на птичьих лапках (при ближайшей возможности рассмотрите лапки цыпленка) и на крысиных хвостах. Даже у человека ногти на руках и ногах — это разновидность чешуи рептилий.

Однако птицы и млекопитающие являются теплокровными, и для предотвращения избыточного выделения тепла во внешний мир им

необходима изоляция. Чешуя не может служить достаточно хорошим изолятором, если только она не настолько рыхлая, чтобы можно было поймать слой неподвижного воздуха рядом с телом. У птиц такая рыхлая чешуя видоизменилась и превратилась в перья, а у млекопитающих преобразовалась в волосяной покров.

Из этих двух видов перья более эффективны в качестве изолятора. К тому же они выполняют и другие дополнительные функции. Большие (маховые) перья крыльев дают возможность полета, а большие (рулевые) перья хвоста служат балансирующим устройством. Связь между перьями и полетом, кажется, вытекает из того факта, что нет ни одной летающей птицы без полного комплекта перьев, даже в теплом климате (за небольшим исключением — к примеру, у грифов голова без перьев). Даже нелетающие птицы сохранили перья, хотя в некоторых случаях от них мало что осталось, кроме центрального стержня. Волосяной покров в основном не имеет других функций, кроме функции предотвращения теплопотери (лишь у некоторых животных он выполняет несколько иные функции), поэтому в тропиках нередки животные с небольшим волосяным покровом. У слонов и бегемотов воло-

сяной покров, например, состоит из небольшой щетины. Киты, которые в качестве изолятора используют ворвань, полностью лишены волосяного покрова, хотя у эмбрионов появляются несколько щетинок. Под чешуей, перьями или мехом находится мягкая и чувствительная кожа позвоночных, которая до сих пор служит им защитой. Микроорганизмы и инородные тела не могут проникнуть через неповрежденную кожу, и она может выдержать удары дождя, ветра, жару и холод, в то время как внутренние органы не обладают такой способностью.

Характерным белком кожи и кожных покровов является роговое вещество *кератин* (от греческого слова «рог»). Кератин — это необыкновенно плотный белок, нерастворимый, неперевариваемый и относительно невосприимчивый к повреждениям, вызываемым изменениями в окружающей среде. Плотность белкового компонента отразилась и на самой коже.

Кожа подразделяется на две основные области. Внутри, под видимым слоем, находится *дерма* (по-гречески «кожа»), или собственно кожа. Это живая ткань, богатая нервными окончаниями, кровеносными сосудами и различными железами. Под ней располагается слой соединительной

ткани, содержащей подкожный жир. Над дермой находится часть кожи, которую мы фактически видим и которая противостоит внешнему миру, — это *эпидермис* (что по-гречески означает «над кожей»), мертвый слой. Клетки у основания эпидермиса живые и постоянно растут и размножаются, так что клетка за клеткой выталкиваются вверх и прочь из кровоснабжения дермы. Без кровоснабжения клетка умирает, и большая часть ее, кроме инертного кератина, атрофируется. Превратности существования постоянно стирают некоторую часть этого отмершего материала с поверхности нашего тела, но она постоянно заменяется снизу, и мы сохраняем наш эпидермис новым.

Этот процесс происходит довольно быстро. Обнаружено, что эпидермис подушечек крысиных лап полностью заменяется через три недели, и те же области человеческого эпидермиса, наиболее подверженные трению, в равной степени обновляемы. Тот факт, что эпидермис постоянно растет, означает, что эту область мы можем восстановить или регенерировать, если какая-то часть ее разрушена. Сама дерма не так легко восстанавливается после разрушения. Разрыв, несомненно, заживает, но только в виде мостика соединитель-

ной ткани. Особая структура этого участка дермы утрачена, и бесформенный участок заменившей его соединительной ткани образует рубец (от греческого слова «очаг», поскольку ожоги частая причина образования шрамов и рубцов).

Чешуя рептилий, птичьи перья, волосяной покров млекопитающих эпидермального происхождения и подобно самому эпидермису постоянно сбрасываются и заменяются. Рыбья чешуя кожного происхождения, и ее потеря — более серьезный вопрос.

Поверхность дермы шершавая и имеет похожие на язычки отростки. Эпидермис по большей части заполняет пространства между отростками и образует ровную поверхность. На ладонях рук и подошвах ног, однако, эпидермис поднимается и опускается, облегая отростки так, что здесь можно обнаружить небольшие параллельные линии, проходящие мягкими кривыми. На шаровидных косточках большинства дистальных суставов пальцев линии складываются в изгибы и завитки. Цель этих крошечных рубчиков придать поверхности большее сцепление — ноге с землей при ходьбе, руке с каким-либо предметом. Они служат той же цели, что и протектор автомобильных шин. Рисунок рубчиков на ладо-

нях и подошвах строго индивидуален; если два отпечатка пальца оказываются идентичными во всех отношениях, вполне можно допустить, что оба отпечатка оставил один человек. Железы, которые особенно многочисленны на ладонях, выделяют крошечные капельки пота и жира. Влажная пленка, появляющаяся таким образом, еще больше способствует улучшению хватательной способности рук и ног.

Мягкость и чувствительность кожи нельзя отнести на счет эпидермиса, который сам по себе мертв и нечувствителен. Эпидермис настолько тонок, что нервные окончания в дерме расположены достаточно близко к поверхности, чтобы обеспечить чувствительность. Там, где участки кожи хронически подвергаются трению, эпидермис в ответ утолщается. Образуются мозоли. Так, подошвы ног обычно мозолистые у тех, кто имеет привычку ходить босиком, а ладони рук покрыты мозолями у неквалифицированных рабочих. В дни, когда труд был в большинстве своем ручным (немеханизированным), мягкие руки служили признаком аристократии, и один из излюбленных приемов Шерлока Холмса состоял в том, чтобы определить профессиональный род занятий кого-либо по типу мозолей на руках.

Синеватые вены просвечивали через мягкую, лишенную мозолей и загара кожу ладоней и рук тех, кто не работал, поэтому аристократов называли людьми «голубых кровей».

Нечувствительность эпидермиса в местах мозолей вполне очевидна, поскольку кожа там заметно жестче и менее эластична, а также относительно нечувствительна. Ощущение такое, будто живая и чувствительная дерма сменила свои изначально тонкие латексные перчатки на пару, сделанную из кожи. Иногда область избыточного раздражения или давления, к примеру вызванная ботинками не по ноге, может вызвать анормальное эпидермальное затвердение на пальце ноги. Это омозолелость, или мозоль, и она может быть довольно болезненной.

Слова «омозолелость» и «ороговелость» несколько схожи, и в действительности и то и другое похоже по химической структуре. Рога различных животных, включая оленьи, — это кератинизированная, то есть ороговевшая (кератин — роговое вещество) и затвердевшая разновидность эпидермиса. Таковыми являются и копыта разнообразных травоядных, и когти различных плотоядных животных. Мы сами имеем такие же роговые наросты в виде ногтей рук и ног,

которые аналогичны когтям и копытам. Наши ногти теперь не столь полезны нам в качестве оружия нападения или защиты (хотя известно, что женщины умеют пользоваться ими с вызывающим опасение эффектом). Тем не менее они ужесточают кончики пальцев на руках, и, если дать им отрасти, получаются тонкие, твердые поверхности, которые могут быть использованы для таких деликатных задач, как собирание иголок или булавок, а также проникновение в узкие щели для извлечения оттуда мелких предметов.

Кожа защищает не только от механических толчков, ударов и царапин, но также и от воздействия различных форм энергии, например солнечного света. Большинство животных защищены от солнечного света толщей воды (если это морские животные) или препятствующим слоем мертвого вещества (если это наземные существа). Чешуя, шерсть и перья эффективно впитывают энергетические лучи солнца без всякого вреда для себя, и даже лягушка безо всякого кожного покрова, по крайней мере, покрыта толстой оболочкой слизи.

Человек необычен тем, что его сухая, обнаженная кожа подвергается воздействию солнца, имея в качестве защиты лишь относительно тонкий

слой эпидермиса. Для ультрафиолетовых лучей солнца эпидермис людей со светлой кожей совершенно прозрачен, с тем же успехом его могло бы и не быть.

Ультрафиолетовое излучение достаточно энергетично, чтобы вызывать химические изменения внутри клетки. Некоторые из них благотворны. К примеру, дерма содержит определенную разновидность стирола (что по-гречески означает «твердый спирт» и является адекватным описанием его химической природы), который сам по себе представляет для организма не слишком большую ценность, но под влиянием ультрафиолетового излучения подвергается небольшим изменениям, превращающим его в форму витамина D. Вот почему рекламодатели называют витамин D «солнечным витамином». Его нет в солнечном свете, но он может вырабатываться в коже под действием солнечных лучей.

Витамин D необходим для надлежащего формирования костной ткани, и, поскольку присутствует в очень немногих продуктах питания, до XX века постоянно существовала опасность неправильного формирования костей у детей, рожденных в начале северной зимы. Солнце было почти единственным средством получения

этого витамина. Принимая во внимание, что человек изначально эволюционировал как тропическое животное, его зависимость от солнца была надежной.

Однако, когда человек мигрировал на север, он достиг областей, где солнце находилось на небе всего несколько дней на протяжении большей части года (и к тому же довольно низко на небе, так что основная часть ультрафиолета поглощалась атмосферой). Витамин образовывался в недостаточном количестве, и результатом был рахит. Когда открыли витамины и поняли причину возникновения рахита, масло из печени рыб (особенно из печени трески), богатое витамином D, стало излюбленным напитком молодого поколения. Современные витаминные препараты столь же эффективны и, к счастью, гораздо меньше пахнут рыбой. Кроме того, пища, такая, как молоко и хлеб, может подвергаться специальной обработке, вследствие которой содержать соединения с активностью витамина D.

Однако пример образования витамина D как благотворный результат облучения ультрафиолетом — скорее исключение, чем правило. Другие химические реакции, вызываемые энергетическим воздействием ультрафиолетового

излучения, губительны, и кожа может ответить воспалением, называемым загаром. Такое состояние во всех отношениях не что иное, как ожог, и, как известно тем, кто испытал его на себе, может быть неприятным и болезненным.

Кроме того, солнечный ультрафиолет, подобно радиационному облучению, может вызывать рак. Ультрафиолетовое излучение ни в коей мере не столь опасно, как более сильное облучение рентгеновского аппарата и радиоактивных веществ, но постоянное нахождение под лучами солнца повышает шанс получить рак кожи. В качестве защиты от раздражающего воздействия ультрафиолетового облучения человеческая кожа обладает способностью образовывать темно-коричневый пигмент, называемый *меланин* (по-гречески «черный»). Он может поглощать ультрафиолетовый свет без вреда для себя и таким образом действует в качестве защитного прикрытия для участков, находящихся ниже. У жителей тропических областей, где солнце наиболее активно, обладание значительным количеством меланина в коже наиболее ценно, и именно у них в процессе эволюции количество этого пигмента повышалось из поколения в поколение. Следовательно, количество меланина

отвечает за темный цвет кожи тропических народов, таких, как негры Африки, дравиды Индии, аборигены Австралии, папуасы Меланезии и индейцы тропической Америки. Даже среди европейцев наблюдается тенденция увеличения смуглости кожи по мере продвижения на юг.

Бледная кожа народов Северной Европы также была вызвана гнетом эволюции. Там, где солнечный свет слабый, наличие меланина не столь важно. Вместо этого лучше поддерживать эпидермис прозрачным так, чтобы как можно больше слабого солнечного света достигало дермы и произвело необходимый витамин D. В условиях низкого содержания меланина кожа бледная или белая, но дает возможность красному цвету кровеносных сосудов дермы слегка просвечивать через нее, это свойство мы называем свежий цвет лица.

Образование меланина стимулируется солнечным облучением. Это наиболее очевидно у людей, которые по количеству меланина занимают золотую середину, — тех, что имеют достаточно мало меланина, чтобы быть явно белокожими, по достаточно много, чтобы быть брюнетом. Нахождение под лучами солнца вызывает потемнение кожи, называемое загар.

Когда люди имеют очень светлую кожу, они, возможно, не только имеют недостаток меланина, но и не могут образовывать его в большом количестве. Поскольку цветом волос и глаз мы тоже обязаны меланину, люди с особенно светлой кожей, весьма вероятно, имеют светлые волосы и голубые глаза и в большинстве случаев не загорают, а «сгорают» на солнце. У некоторых светлокожих людей, когда они подвергаются воздействию солнечных лучей, меланин образуется в определенных местах. Это наиболее свойственно людям, светлые волосы которых содержат рыжеватый пигмент, обычно заглушённый, если также присутствует много меланина. Именно у этих рыжих образуются пигментные пятнышки, которые мы называем веснушками.

Даже у самых светлокожих и светловолосых людей по сравнению со среднестатистическими может образовываться достаточно меланина, чтобы окрасить их глаза в светло-голубой цвет. Однако время от времени рождаются такие люди, которые из-за специфической ошибки в химическом составе их организма вообще не способны образовывать меланин. Кожа и волосы у них белого цвета, а глаза — красные, так как из-за отсутствия пигмента крошечные кро-

веносные сосуды видны в радужке глаз. Такой человек — альбинос (от латинского слова «белый»). Альбиносы встречаются у любых народов, следовательно, бывают и негры-альбиносы.

У животных также встречаются альбиносы. Знакомыми примерами тому являются белые крысы и белые кролики. Белый слои, столь почитаемый в Таиланде, тоже альбинос, мы можем даже встретиться с явным противоречием в определениях: скажем, белый черный дрозд.

Меланин — не единственный кожный пигмент. В коже встречается также и желтый пигмент, называемый *каротином.* Это вещество весьма распространено в растительном и животном мире (действительно, английское слово «carrot» — морковь, в которой много каротина, возможно, произошло от названия этого пигмента) и имеет отношение к витамину А (каротин — это провитамин А). Обычно он заглушён более сильно окрашенным меланином, но есть группы народов, особенно в Восточной Азии, кожа которых богата каротином, но не изобилует меланином, в результате чего приобретает явственно желтоватый оттенок.

Потоотделение

Поскольку кожа соприкасается с окружающей средой, она важна как средство теплорегуляции организма, так как предлагает поверхность для излучения тепла. Основным источником тепла в организме конечно же является не сама кожа, а внутренние органы, особенно те, что участвуют в интенсивной химической активности, такие, как печень, почки и сердце. Тепло, производимое этими органами, переносится кровью, которая по мере циркуляции по организму распределяет его равномерно. Некоторая часть тепла уносится в дерму, а оттуда частично излучается в окружающую среду. Легкость, с которой происходит это излучение, зависит от разницы температур тела и его окружения. Когда эта разница маленькая, излучается тепло медленно, а когда большая — быстро.

В теплую погоду, когда атмосфера лишь чуть прохладнее температуры тела и скорость теплопотери посредством излучения низкая, артериолы дермы расслабляются, поэтому необычно большая часть крови находится в коже. Замедленное теплоизлучение происходит, по крайней

мере частично, за счет роста тепла, которое необходимо излучить. В холодную погоду артериолы дермы сокращаются и происходит ускорение излучения, по крайней мере частичное, путем снижения доступности тепла для такого излучения.

Однако контроль с помощью простого излучения не слишком эффективен, особенно в теплую погоду, когда от жары нужно избавляться быстро. Следовательно, цель достигается не простым излучением тепла, но и испарением жидкости. Превращение любой жидкости в пар — процесс энергоемкий, а в случае с водой количество энергии, потребляемой на единицу веса испаряемой жидкости, больше, чем при испарении почти любой другой жидкости. Энергия на испарение черпается из наиболее удобного места, то есть оттуда, где жидкость вступает в контакт. Намочите палец и подуйте на него или выйдите прямо из-под душа на легкий ветерок, и ощущение прохлады по мере того, как испарение забирает тепло с кожи, будет безошибочным.

Очевидным способом повышения скорости, с которой вода испаряется из организма, является частое быстрое дыхание, когда массы воздуха проходят через влажные поверхности рта, горла

и легких. Мы сами не прибегаем к этому, нам некомфортно, но это главный прием охлаждения, и он доступен, к примеру, собакам, которые в теплую погоду сидят с открытым ртом, высунув дрожащий язык, и часто и тяжело дышат.

Мы не делаем этого потому, что у нас есть лучший прием, который недоступен собакам. Мы обладаем крошечными железами, распределенными по всей поверхности кожи, общим числом около 2 миллионов, цель которых — доставка воды к поверхности кожи. С поверхности эта вода испаряется, и тепло, таким образом, удаляется из организма. Такие железы называют *потовыми*, а жидкость, которую они выделяют, — *пот*, или испарина (от латинского слова «перспирация», что может дать неверное представление, будто кожа «дышит» через эти железы). Потовая железа состоит из крошечной, свернутой спиралью трубочки и главного тела, которое расположено глубоко в дерме. Трубочка разворачивается и проходит через эпидермис. Крошечные отверстия на поверхности — *поры* (от греческого слова «проход») едва видимы невооруженным глазом.

Пот выделяется постоянно, с интенсивностью, зависящей от температуры окружающей среды, и, следовательно, необходимость избавляться от

тепла этими средствами гораздо эффективнее, нежели простое теплоизлучение. В холодную сухую погоду количество выделяемого пота относительно невелико. Кожа остается сухой на ощупь, и вы не чувствуете, что потеете. Это так называемое неощущаемое потоотделение, и, несмотря на то что вы его не чувствуете, оно вызывает потерю литра воды за день.

Когда вы усердно трудитесь физически, выработка тепла организмом возрастает, потовые железы ускоряют выделение пота. Это относится и к тем случаям, когда температура окружающей атмосферы необычно высокая. Скорость потоотделения может тогда опережать скорость испарения, особенно если влажность высока, поскольку скорость испарения снижается с повышением влажности. Пот тогда будет собираться на теле явственно видимыми каплями, и мы чувствуем, что потеем. Сама по себе жидкость не приносит нам никакой пользы в том, что касается охлаждения, мы должны дождаться испарения. Следовательно, когда мы заметно потеем, нам обычно жарко и к тому же дискомфортно, и мы не устаем повторять: «Это не из-за жары, это — от влажности», что вполне соответствует истине.

Когда влажность довольно низкая, скорость

испарения высокая и даже жаркая летняя погода не вызывает особого дискомфорта. Тогда не исключена возможность, что температура воздуха будет вышетемпературы тела, и, если бы потеря тепла ограничивалась только теплоизлучением, тело набирало бы тепло, но благодаря потоотделению и испарению организм все-таки чувствует себя комфортно. Даже когда воздух на удивление сухой, та его часть, что окружает наши тела, будет впитывать водяные пары испарины и станет влажной. Именно по этой причине важно, чтобы существовала вентиляция, пусть даже легкий ветерок, призванная заменить влажный воздух, окружающий нас, на более сухой, находящийся от нас на расстоянии.

Потоотделение в той же мере, как тепло, могут вызывать эмоции или напряжение. Они служат причиной «холодного пота», потому что при более низких температурах охлаждение, вызванное обильным потоотделением, может дать довольно неприятное ощущение холода. В то время как под действием жары наиболее сильно активизируются потовые железы, расположенные на лбу и шее, под влиянием эмоций активизируются железы на ладонях, и именно поэтому ладони от волнения становятся липкими — холодными и

влажными на ощупь.

Пот — это почти чистая вода с растворенными в ней веществами, которые составляют лишь около половины процента от общего содержания. Большую часть этого незначительного количества растворенных веществ составляет хлорид натрия, или поваренная соль. Такая потеря соли обычно мала, но, когда потоотделение особенно обильно, за час может быть потеряно 1–1,5 литра воды в виде пота, и тогда расход солевого запаса организма может стать ощутимым. Потеря воды через потоотделение, естественно, стимулирует чувство жажды, и при первой же возможности обильно потеющий человек старается попить. Однако питье восполняет только воду, но никак не соль. Экстремальные потери соли могут вызывать болезненные судороги, но, если дело не зашло так далеко, потеря соли даст неприятное ощущение жара. Вошло в обычай принимать таблетки поваренной соли с водой, если приходится находиться на сильной жаре или выполнять работу, требующую интенсивной физической нагрузки.

Люди, приспособленные к жаркому влажному климату (например, негры), имеют больше потовых желез по сравнению с европейцами, а пот у

них выделяется с меньшей концентрацией соли.

В результате работы нашей системы кондиционирования воздуха посредством потовых желез температура тела поддерживается с удивительным постоянством на уровне около 36,6 °C. Это среднестатистический показатель, а точная величина время от времени и от человека к человеку слегка варьируется. Подъем температуры тела выше 37,3 °C обычно возникает в ответ на инфекцию — это жар, или лихорадка. Жар возникает, даже если температура повышается всего на 1–2 градуса, и в результате — недомогание и ощущение усталости, апатии. Наш внутренний термостат так хорошо работает, что жар — это верный признак болезни, а медицинский термометр — это самый ценный диагностический инструмент каждой матери.

Потоотделение имеет также и неприятную сторону — связанный с ним запах. В этом отношении вина лежит не на обычных потовых железах. Есть специальная разновидность потовых желез, которые несколько больше обычных и сконцентрированы в относительно немногих местах тела, это — подмышки и область половых органов. Они также секретируют пот, который не пахнет, но содержит небольшое количество

органических субстанций, легко разлагаемых бактериями, присутствующими на коже. Продукты распада отвечают за характерный запах человеческого тела. Поскольку эти потовые железы активизируются только в период половой зрелости, детское тело свободно от такого запаха (хотя, конечно, может иметь запах по многим другим причинам).

Несомненно, запах тела наверняка был полезен в примитивные дни, когда люди жили племенами. Он, возможно, помогал племени держаться вместе в лесах или по ночам, когда зрение не всегда эффективно. Не исключено, что запах мог служить способом отличить соплеменника от незнакомца, запах которого немного отличался, что более тонко развитый нюх древних людей легко мог отметить. Запах также мог служить в качестве сексуального стимулятора.

Однако в современном многолюдном обществе, где каждый из нас ежедневно вынужден контактировать с сотнями или даже тысячами незнакомых людей и где запах не требуется ни для опознавания своих, ни для определения чужих (хотя вопрос относительно сексуальной стимуляции остается спорным), запах стал источником дискомфорта. Отсюда наше современное

зацикливание на частом мытье и использовании мыла, парфюма и химических дезодорантов в нескончаемой войне против этого явления природы.

Важным типом модифицированной потовой железы является выделяющая молоко *молочная железа.* Из этого следует, что молоко — это модификация пота, что кажется странным и даже отталкивающим, но это не страннее, чем рассматривать трахею как модификацию жабр или ногу как модификацию плавника. Молочные железы присутствуют только у млекопитающих и дали само название этому классу хордовых. В общем, они образуются вдоль двух линий молочных желез вниз по вентральной поверхности тела. Здесь несколько желез сливаются и вдоль этих линий образуют ряд бугорков, называемых сосками. (Самое примитивное из живых млекопитающих, утконос, не имеет сосков, и молоко, которое медленно вытекает из молочных желез, детеныши должны слизывать. У всех других млекопитающих наличие сосков дает возможность сосания, а это более эффективный способ «выдаивания» молока.)

У животных, у которых в помете несколько детенышей, вдоль каждой линии сохраняются

несколько молочных желез. Это легко обнаружить у кошек, собак и свиней. У коровы, которая обычно рожает только одного теленка, сохранилось всего две пары сосков на абдоминальном конце линий молочных желез, и все четыре объединены в одно большое мешкообразное вымя. У людей, у которых также обычно одновременно рождается один ребенок, сохранилась всего пара сосков в торакальном направлении линии молочных желез, и они располагаются по отдельности.

У детей и взрослых мужчин соски остаются маленькими и нефункциональными, то есть рудиментарными (что по-латыни означает «начальный»). У девочек в период полового созревания молочные железы начинают изменяться. Соски увеличиваются, и отдельные железы (которых может быть от 15 до 20 с каждой стороны, каждая из которых обладает отдельным протоком, проходящим через сосок) окружаются и связываются вместе соединительной тканью и жиром, чтобы получилась пара мягких округлых грудей. Отдельная женская грудь проходит от второго до шестого ребер и от грудины к подмышке. Соски располагаются чуть ниже центра груди, сначала они розового цвета и окружены

светло-розовым *ареолом* (что по-латыни означает «небольшая область»), или околососковым кружком. Сосок и околососковый кружок обычно темнее у брюнеток, чем у блондинок. После первой беременности меланин по какой-то причине откладывается в соске и околососковом кружке, которые в той или иной степени темнеют.

Молоко образуется только после рождения ребенка и далее остается на период, пока его не отнимут от груди. В процессе эволюции каждый вид млекопитающих вырабатывает молоко, специально адаптированное к нуждам его детенышей. Женское молоко состоит из 1,5 процента белка, 7,2 процента лактозы (молочного сахара), 3,6 процента жиров и 0,2 процента минеральных веществ. Остальное — вода.

У животных молоко — это питание только для детенышей, которое больше никогда не будет доступно, после того как их отнимут от груди (если только взрослому животному его не дает человек). Еще в доисторические времена человек считал молоко ценной пищей для взрослых и держал коров, коз, овец и даже лошадей, чтобы доить их в период лактации, когда они дают молоко.

Само молоко было трудно сохранить в свежем виде продолжительное время, до того как замо-

раживание стало распространенным явлением, и обнаружилось, что его способность к прокисанию лучше всего направить в полезное русло и получать простоквашу, сметану или сотни видов сыров. Жир, извлекаемый из молока, — это масло. Сегодня конечно же мы используем само молоко, сохраняемое не загрязненным вызывающими болезни бактериями посредством предварительного нагревания. Этот процесс называется пастеризация в честь Луи Пастера, который ввел в обиход эту процедуру (между прочим, для вина, а не для молока).

Коровье молоко по составу совсем не такое, как женское. Оно содержит наполовину меньше лактозы и в два раза больше белка. (Телята растут быстрее, чем младенцы, и им требуется больше белка в рационе.) Взрослые легко могут переносить эти отличия, чего нельзя сказать о младенцах. По этой причине, когда мать не может кормить своих малышей грудью (или предпочитает этого не делать), коровье молоко, используемое вместо женского, должно быть видоизменено надлежащим образом. Его следует развести, чтобы уменьшить концентрацию белка, а кроме того, поскольку содержание углеводов в результате этого снижается, необходимо

добавить дополнительный сахар. Сахар обычно добавляют в форме декстринов (продуктов распада крахмала), которые энергетически соответствуют сахарам, но, подобно лактозе, относительно безвкусные.

Волосяной покров

Волосяной покров, как я упоминал ранее, способствует теплорегуляции большинства млекопитающих. Кроме изначальной функции теплоизоляции, волосяной покров может использоваться по другому назначению. Завивающиеся волоски, уложенные волнами, набегающими друг на друга, образуют сплошной коврик, обычно называемый шерстью. Овецс такой разновидностью шерсти специально выращивают.

Короткие, жесткие, необычно густые волоски, такие, как на хребте у свиньи, — это щетина. Щетинки на усах моржа могут иметь диаметр до $^1/_4$ дюйма. Иголки ежа и иглы дикобраза — это тоже волоски, но затвердевшие, острые и даже ядовитые, они служат оружием защиты и нападения. Еще более экстремальным органом защиты волосяного происхождения является рогоподобный выступ на морде носорога, который образовался путем слияния большого количества волосков. Еще есть длинные, довольно жесткие волоски, в изобилии оснащенные нервными окончаниями у основания, которые могут использоваться в качестве тонкого органа осязания. Пример тому

длинные волоски кошачьих усов.

Такой специализации у человека нет, и наш волосяной покров к тому же не слишком обильный. Частично это общая характерная черта приматов, поскольку приматы как группа менее волосаты, чем большинство неприматов. На самом деле это неудивительно, поскольку приматы — животные тропические, для которых волосяной покров не особенно важен как изолятор. К тому же чем больше животное, тем меньше поверхность по отношению к объему. По этой причине большому животному легче поддерживать тепло, потому что для выделения тепла объем большой, но сравнительно небольшая поверхность излучает его. Именно по этой причине полярные животные (такие, как полярный медведь, овцебык, морж) имеют большие размеры. Тропические животные, когда они большие по размеру, вынуждены каким-то образом усовершенствовать способность кожи излучать тепло, и простейшее решение — сократить волосяной покров или вообще его лишиться. Слоны, бегемоты и носороги, например, явно лишены шерсти (хотя в ледниковый период покрытые шерстью слоны и носороги бродили на севере). Слон, особенно африканский, обзавелся большими ушами, которые служат

тепловыми радиаторами.

Похожая тенденция к снижению волосяного покрова наблюдается у больших приматов. К примеру, у гориллы морда и грудь без волос. У человека эта тенденция развивалась дальше, хотя он и меньше, чем горилла. Но она не шла в направлении полной потери волосяного покрова. Есть только ограниченные области человеческого тела, такие, как ладони рук и ступни ног, которые вообще лишены какого-то ни было волосяного покрова. Что же касается остальной кожи, волоски на ней многочисленны — столь же многочисленны на единицу площади, как у других приматов. Однако у человека волосы по большей части остаются короткими и тонкими и не отрастают до такой длины и густоты, чтобы образовать сплошной волосяной покров или чтобы улавливать изолирующий слой спокойного воздуха рядом с кожей.

Тем не менее мы обладаем одной способностью, которая напоминает о прошедших веках, когда паши предки действительно имели кожу, покрытую густым мехом. Животные под действием холода могут приподнимать волоски, в результате чего шерсть дальше отстает от кожи. Таким образом захватывается более толстый

слой воздуха и изоляция, препятствующая потере тепла, улучшается. У нас до сих пор сохранились небольшие пучки гладких мышц — arrectores pilorum, то есть выпрямляющие мышцы волоса, которые могут натягивать кожу и приподнимать волосы. Но все, что нам остается, — это приподнимать крошечные бесполезные волоски, в то время как кожа покрывается мурашками или гусиной кожей. Шерсть, встающую дыбом в ответ на испуг, может наглядно продемонстрировать кошка, когда неожиданно встречается мордой к морде с собакой. Чем гуще мех, тем животное кажется больше и внушительнее. Мы таким же образом отвечаем на испуг и покрываемся гусиной кожей.

У человека сохранилась настоящая шерсть, или, по крайней мере, островки волосяного покрова в тех местах, где она должна нести защитную функцию. Наиболее это заметно на верхней части головы. Цель волосяного покрова в этом месте — служить изолятором, но не столько противодействующим потерям организмом тепла, сколько защищающим от тепла солнечного. Существуют протеины мозга, которые необычайно нестабильны даже при относительно мягкой степени жары, а непосредственный жар солнца,

направленный на обнаженную голову, может вызвать потерю сознания — состояние, называемое солнечный удар. Волосяное покрытие снижает вероятность этого, и жесткая ровная шапка вьющихся, похожих на шерсть волос у многих африканских народностей особенно эффективна в этом отношении. Даже людям с шикарной шевелюрой, но не привыкшим к тропическому солнцу лучше, пожалуй, порекомендовать носить головной убор для более надежной защиты.

Разнообразные отверстия, ведущие внутрь организма, обычно защищены волосами. Кроме волосков в ноздрях, волосы обычно растут вокруг наружного слухового прохода и ануса. Глаз окаймлен ресницами, а несколько выше — бровями. Ресницы защищают глаз от инородных частиц, а брови — от ослепительного солнечного света.

Обычай, бытующий в нашем обществе, который принуждает мужчин и мальчиков коротко подстригать волосы на голове, создает иллюзию, что волосы у женщин длиннее, чем волосы у мужчин. В действительности это не так, и в эпохи, когда мужчинам дозволялось отращивать волосы, они делали это с таким же успехом, что и женщины.

Волосатость меняется с возрастом. В некотором роде это относится и к женскому и к мужскому полу. Например, в период полового созревания как у юношей, так и у девушек начинают расти волосы под мышками и вокруг гениталий. Первые — это подмышечные волосы; последние — лобковые волосы. Поскольку волосы появляются одновременно с началом функционирования специальных вырабатывающих запах желез, естественно будет предположить, что функцией волос является усиление образования запаха, так как они служат местом скопления бактерий, вызывающих запах. Это представляет проблему для нашего общества, столь чувствительного к запахам.

Усиление волосатости с возрастом — это явление, присущее исключительно мужчинам. В позднем подростковом возрасте волосы вырастают вдоль щек, подбородка и верхней губы, образуя бороду и усы. Они не выполняют какую-либо жизненно важную функцию (хотя способны служить защитой для рта), поскольку женщины прекрасно без них обходятся. Следовательно, их можно классифицировать как вторичный половой признак. Он свидетельствует о половой зрелости мужчины и воздействует как стиму-

лятор на женскую чувствительность, подобно гриве льва или красивому оперению большинства мужских особей птиц. Кроме того, у мужчин волос больше и они длиннее на плечах и груди. Этот признак радикально меняется от группы к группе. Так, мужчины европейского происхождения значительно волосатее, в общем и целом, чем представители других групп. Это к тому же индивидуальный признак, поскольку у некоторых мужчин вообще нет волос на груди, а у других мужчин того же происхождения грудь покрыта шерстью.

Имеется также обратная тенденция, которая также радикально изменяется от индивидуума к индивидууму, а именно потеря волос на голове (однако при сохранении волос в других местах) в среднем возрасте и далее. В некоторых случаях признаки выпадения волос появляются даже в двадцать лет. Такая тенденция — облысение, или *алопеция* (от греческого слова «плешивость»), по-видимому, передается по наследству и является в некотором роде признаком мужественности, поскольку эта тенденция не проявляется, даже будучи наследственной, до тех пор, пока концентрация мужских половых гормонов в крови не достигнет определенной критической точки. Сле-

довательно, женщины лысеют редко, а мужчины, кастрированные до достижения пубертатного возраста, вероятно, вообще никогда не лысеют.

С возрастом проявляется также тенденция к усиленной потере пигмента волос. По прошествии лет волосы становятся седыми все заметнее и заметнее, этот процесс часто начинается на висках. В конце концов волосы могут сделаться совершенно седыми. Как и в случае облысения, этот процесс может начаться в довольно раннем возрасте у определенных людей, а тенденция к преждевременной седине также наследственная.

Волосы — это продукт эпидермиса, который западает глубоко в дерму в месте, откуда растет волос. Это глубокое западение топкого слоя эпидермиса — *волосяной фолликул* (что по-латыни значит «маленький мешочек»). Каждый фолликул содержит один волос. Внутри выпуклости на дне фолликула находится волосяной корень. Он живой. Поскольку волос вырастает из корня, он пробивается на поверхность в виде волосяного стержня, покрытого крошечными, равномерно распределенными чешуйками, и достигает поверхности кожи. Волос над корнем — это неживая структура, состоящая в основном из кератина.

Человеческий волос растет со скоростью около 0,3 миллиметра в день. Волосы периодически выпадают, а на их месте вырастают новые. Частота, с которой это происходит, будет контролировать максимальную длину волос. У животных есть определенное время линьки. Она обычно предшествует смене сезона, поэтому для зимы шерсть вырастает длиннее и гуще. Новая шерсть может даже быть иного цвета: животное становится белым для зимы — условие, которое повышает его шансы на выживание, поскольку его труднее заметить на снегу.

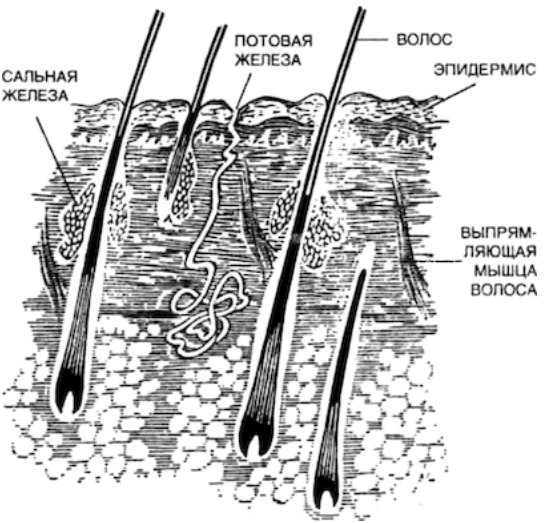
У человека каждый волос имеет собственный жизненный цикл, независимый от цикла соседнего волоса. Волосы выпадают, и на их месте вырастают новые.

Волосы могут быть прямыми, волнистыми или вьющимися, по точная причина этих различий пока неизвестна. Но обладательницы прямых волос могут обзавестись кудрями. Дело в том, что молекулы кератина волос связаны друг с другом цепочками атомов, которые могут разрываться под действием влажного тепла и определенных химических веществ. Если при этих условиях завить волосы и оставить в таком положении на определенный период времени, образуются

новые цепочки атомов, выстроенные в ином положении. Тогда волосы будут перманентно (постоянно) завитыми — «перманентная завивка» в действительности рассчитана на тот период времени, пока остается на голове. Волосы, растущие от корня, будут прямыми, а после того, как искусственно завитые волосы выпадут, они заменятся на прямые. Следовательно, перманент — это все-таки лишь временное явление, вопреки его названию.

Каждый волос снабжен маленькой сальной железой, которая выделяет похожий на воск секрет, или *кожное сало.* Она протоком соединяется с волосяным фолликулом. Волосы и окружающая их кожа постоянно покрываются этим салом, если только его усердно не смывают водой с мылом. Секрет сальных желез усиливает блеск волос и служит защитным и водонепроницаемым покрытием как для волос, так и для кожи. С волос, защищенных таким образом, вода скатывается, не увлажняя их. Естественное направление, в котором располагается волосяной покров на человеческом теле, таково, что, если человек присядет на корточки так, чтобы колени упирались ему в подбородок, а шею обнимет руками, выставив локти наружу и опустив вниз (положе-

ние, которое примитивный человек вполне мог принимать в отчаянной попытке не слишком намокнуть под проливным дождем), все волосы на теле будут направлены вниз, чтобы дождь легче с них стекал.



Женский нос особенно обильно снабжен сальными железами. Именно скопление секрета сальных желез образует ушную серу и вещество, которое собирается в уголках глаз после сна. К тому же этот секрет скорее, чем пот, делает волосы

и кожу человека заметно жирными, если долго не мыться.

С другой стороны, мытье, если пристрастие к нему доводится до абсурда, может лишить волосы и кожу полезного защитного покрытия, и пользы от этого будет немного. Следует упомянуть, что ланолин, столь широко рекламируемый в качестве компонента различных препаратов, предназначенных помочь волосам и коже возмещать потерянный секрет сальных желез, вследствие чрезмерного употребления различных других препаратов, столь же широко рекламируемых, сам по себе является секретом сальных желез овцы.

Несмотря на все естественные защитные механизмы, кожа, особенно если позволить ей сделаться чрезмерно грязной, подвержена инфекциям. Отверстия, представленные порами и волосяными фолликулами, в одном отношении являются слабым местом. Немытая кожа имеет тенденцию собирать грязь, которая, смешиваясь с секретом сальных желез и высохшим потом, заполняет поры, образуя неприглядные черные головки. Обильная концентрация бактерий на грязной коже склонна вызывать инфекцию в месте черной головки или волосяного фолликула,

образуя воспаление, которое мы называем *прыщ* и *фурункул.*

Активность некоторых микроорганизмов способна вызывать защитный ответ в форме избыточного выделения секрета сальными железами, или *себорею* (по-латыни «поток сала»). Себорея, в свою очередь, вызывает воспаление кожи (*дерматит)* и зуд. Секрет сальных желез накапливается и образует чешуйки грязи, которые наиболее заметны в волосах. Мы называем их перхоть, которая помимо неприглядного вида вызывает чувство дискомфорта из-за кожного зуда, а в исключительных случаях может повлечь за собой потерю волос.

Себорея, по-видимому, повышает вероятность хронического образования прыщей, или акне — угревой сыпи. При этом, вероятно, не обходится без нарушения гормонального баланса, поскольку такое явление наиболее часто возникает в период полового созревания, когда гормональный баланс организма радикально смещается, а у девушек это наиболее заметно в менструальный период. Возможно, ни одна другая болезнь столь незначительного характера не имеет столь серьезных психологических последствий, потому что молодой человек или девушка обычно

бывают обезображены прыщами как раз в тот момент жизни, когда он или она открыли наличие противоположного пола и наиболее уязвимы и застенчивы в этом вопросе. Более того, хотя акне обычно явление проходящее и имеет тенденцию исчезать с возрастом, оно оставляет шрамы как на лице, так и на личности.

Кожа также подвергается грибковым инфекциям, наиболее известная из которых *эпидермофития стопы*, а также вызывающим зуд и шелушение болезням, которые не всегда имеют признанную причину или гарантированного лечения, — таким, как *экзема* (что по-гречески означает «сыпь»), *псориаз* (по-гречески «зуд, чесотка») и *импетиго* (что по-латыни значит «поражать»). Образование сыпи и пустул (гнойничков) — обычное явление при многих болезнях, таких, как корь и ветряная оспа. Наряду с медицинским термометром, лучший диагностический прибор мамаш — это глаз, с помощью которого она осматривает тельце своего ребенка на предмет какой-нибудь предательской сыпи.

После ветряной оспы могут оставаться шрамы, но настоящий злодей в этом отношении — натуральная оспа — теперь, к счастью, побеждена. Ужас перед натуральной оспой во времена,

предшествующие изобретению вакцинации, объяснялся во многом не столько возможностью умереть, которой в конце концов сопровождалась почти любая другая болезнь в те невежественные в медицине времена, сколько возможностью влачить жизнь с таким изуродованным оспинами лицом, что оно было лишено какого бы то ни было намека на красоту и человеческий образ.

Кожа может обладать некой локальной гетерогенностью — разнородностью. Если эти пигментированные пятна темнее окружающей кожи, то они — *родинки.* Иногда лицо обезображено небольшим узелком расширенных кровеносных сосудов на коже, и из-за цвета и внешнего вида этот дефект называют «клубничная метка». Когда родинки появляются при рождении, особенно если они имеют неправильную форму, их называют *родимые пятна.* У большинства людей имеются небольшие родинки, и они настолько к ним привыкли, что совершенно их не замечают. Родинки, однако, могут изредка перерождаться в злокачественные опухоли, и, хотя подобное встречается нечасто, наличие такой возможности предписывает людям отмечать любые внешние изменения родинки и в этой связи немедленно обращаться к врачу. *Бородавки* — это не только

разросшиеся родинки, но, очевидно, результат вирусной инфекции. Несмотря на неприглядный вид, они не опасны.

И все-таки, хотя перечень кожных болезней длинный и человек более осведомлен о них, нежели о болезнях каких-либо других органов, просто потому, что кожа всегда на виду, следует отметить, что в целом кожа — это чрезвычайно эффективный щит. Она хорошо выполняет свои охранные обязанности, и чудо не в том, что время от времени она несколько уступает ударам окружающей среды, по в том, что уступает столь нечасто и обладает такой замечательной способностью к регенерации.

Глава 11
Половые органы

Репродукция

Несмотря на прекрасную и вызывающую благоговейный страх приспособленность человеческого тела к его функциям, оно, в лучшем случае, не что иное, как временная структура. Человеческая жизнь не может длиться бесконечно даже при счастливом стечении обстоятельств, благодаря хорошему здоровью, которое досталось ему от рождения, и стремлению следить за собой, избегая инфекционных болезней и недомоганий, о которых я то тут, то там упоминал в этой книге. Существуют неизбежные изменения, которые появляются с возрастом, — затвердевание и утрата эластичности соединительных тканей и стенок артерий; медленное изнашивание и гибель нервных клеток; незначительные потери жизненно важных веществ и незначительные скопления отходов. Мы не уверены, какова точная природа фундаментальных изменений, которые могут произойти с возрастом, по, взятые вместе, они составляют процесс старения организма.

Результат — старость. Это не обязательно вопрос строго хронологический, поскольку некоторые люди сохраняют живость и до некоторой

степени энергию в девяносто лет, а другие начинают ходить с палочкой, едва им исполнится шестьдесят. Медицинской науке еще неизвестно, как предотвратить или хотя бы замедлить основные процессы старения; и хотя победа над многими инфекционными болезнями и удачное лечение некоторых неполадок в метаболизме позволили увеличить среднюю продолжительность жизни за последние века от тридцати до семидесяти лет, максимальный возраст, которого можно достичь, остается чуть большим ста лет.

И в конце неизбежно наступает смерть.

Человеческий организм должен все-таки содержать некоторые не описанные нами органы. Ведь если человеческая жизнь должна продолжаться до тех пор, пока человеческое тело не перестанет функционировать, необходимо позаботиться о возможности образования новых тел со скоростью, по крайней мере равной той, с которой старые тела умирают. Этот процесс репродукции, или воспроизведения рода, основной для всех живых существ.

Одноклеточные организмы могут воспроизводиться простым делением на два, то есть надвое. Среди простейших многоклеточных организмов деление надвое иногда сохраняется как способ

репродукции. Некоторые кишечнополостные делятся в продольной плоскости («с головы до ног») и образовывают двух себе подобных особей. Некоторые простые черви делятся в поперечной плоскости («с боку на бок») и образуют своего двойника; или же способны фрагментироваться (множественное деление), когда каждый кусочек дает отдельный целый организм.

Подобное деление — надвое или множественное — требует, чтобы каждый фрагмент был способен к регенерации недостающих частей тела. Это может осуществляться, когда организм представляет собой одну клетку или состоит из относительно немногих и неспециализированных клеток. Однако, кажется, правило таково: чем более специализирована ткань, тем менее она становится регенеративной. У человека специализированные ткани, такие, как нервы и мышцы, могут регенерировать совсем немного, если вообще регенерируют. Тогда вполне разумно ожидать, что по мере того, как клетки данного организма становятся все многочисленнее и специализированнее, воспроизводство путем деления надвое становится все более непрактичным. Следовательно, деление должно уступить место более сложным методам репродукции,

или быстро будет положен предел допустимой сложности многоклеточной жизни[11].

Выход из этого положения — ограничить репродуктивный процесс небольшой областью организма, который остается относительно неспециализированным и, следовательно, способен регенерировать оставшуюся часть организма. Начало такого процесса можно проследить от одноклеточных форм жизни, поскольку дрожжевые клетки не размножаются делением ровно на две, а образуют небольшие выросты протоплазмы в ограниченных областях на границе клетки. Эти выросты увеличиваются и в конце концов всегда отпочковываются как полные клетки. Это — почкование. Кажется, у клеток дрожжей с трудом можно отличить этот способ размножения делением надвое, но у многоклеточных животных аналогичный процесс представляет собой ясную специализацию. Пресноводная гидра, кишечнополостное, вырастит небольшую группу клеток на одном конце своей поверхности, и они будут

[11] Примечания: 11

Тем не менее способность к воспроизведению посредством деления надвое не была утрачена полностью, не важно, сколь сложным становится организм. Отдельные клетки всех организмов, включая нас, если они вообще способны размножаться, размножаются делением надвое. Следовательно, хотя человек не размножается делением, он растет с помощью деления клеток.

размножаться и образуют новую гидру, которая рано или поздно отвалится. Только некоторые клетки, а не все участвуют в этом процессе.

Цель, к которой стремится такая специализация, кажется неизбежной. Логический вывод для организма — произвести одну клетку, чрезвычайно специализированную, посредством отсутствия той самой обычной специализации, предназначенную для единственной цели регенерации целого организма, подобного тому, который произвел ее с самого начала. Такой клеткой является *яйцеклетка.*

До сих пор репродукция, как я описал ее, похоже, функция одного организма, но это верно лишь для простейших форм жизни. Среди организмов, наиболее знакомых нам, каждый вид подразделяется на две группы полов, и именно в результате взаимодействия представителя каждого пола получаются новые организмы. Размножение, основанное на участии двух отдельных особей, является, следовательно, половым размножением, в то время как деление и почкование — примеры бесполого размножения.

Половое размножение можно проследить, оглядываясь назад к более сложным одноклеточным организмам. У них репродуктивный период

посредством деления надвое, похоже, медленно снижал силу отдельной особи.

Когда это происходит, два крошечных существа, не имеющие близких родственных связей (то есть они образовались не из одной клетки-предка относительно небольшое число поколений до этого), встречаются. Клеточная мембрана между ними разрывается на ограниченном участке, и эти двое обмениваются частями своего ядра. Это — *конъюгация* (по-латыни «сопряжение»), и этот процесс восстанавливает клеточную силу.

Почему это происходит, точно неизвестно, но можно сделать предположение, что после некоторого периода бесполого размножения накапливаются крошечные ошибки в репликации хромосомного материала, и именно это может медленно снизить эффективность химического механизма клетки. Посредством конъюгации каждая особь получает часть ДНК другой особи, и это «разбавляет» изменения к худшему. Велика вероятность, что одна особь не будет страдать специфическими пороками другой, и сила каждой сводит на нет слабость другой. Более того, любое случайное изменение хромосомного материала, которое может быть к лучшему, распространяется посредством конъюгации от одной группы

особей к остальным.

В общем, это служит примером, иллюстрирующим цель полового размножения. Посредством этого процесса происходит смешение механизмов наследственности двух особей, позволяющее развиваться новым комбинациям в каждом поколении и передавать эти развившиеся изменения от одной к другим особям вида. Это, очевидно, ускоряет механизм эволюции, и в конечном итоге, видимо, он работает на благо вида.

Элементарное доказательство этому заключается в изменениях, которые мы наблюдаем в процессе эволюции. Только простейшие организмы воспроизводятся с помощью бесполого размножения. Более специализированные одноклеточные организмы воспроизводятся с помощью бесполого размножения с введением случайного полового этапа (конъюгации). У многих простых многоклеточных животных имеется чередование поколений. То есть сначала происходит неполовое размножение, воспроизводящее особи, способные к половому размножению; они, в свою очередь, с помощью механизма полового размножения производят особей, которые воспроизводятся только неполовым путем. У более сложных многоклеточных животных, включая

и нас с вами, бесполое размножение, однако, целиком и полностью исключается, а половое становится нормой.

Как только организм достигает стадии развития, когда может вырабатывать яйцеклетку, он почти неизбежно участвует в половом размножении. Наверняка у яйцеклетки есть возможность самой и без вмешательства какой-либо другой клетки образовывать организм. Это называется *партеногенез* («девственное размножение»), и он имеет место у многих беспозвоночных. Например, у пчел это в порядке вещей. Однако, если рассматривать жизнь в целом, такой феномен никогда не встречается у позвоночных.

В общем, яйцеклетка не может воспроизвести организм до тех пор, пока не сольется с клеткой другого типа, называемой клетка спермы (что по-гречески значит «семя»), или *сперматозоид* (что по-гречески значит «животное семя»).



СТРОЕНИЕ
СПЕРМАТОЗОИДА

Процесс слияния яйцеклетки и клетки спермы есть оплодотворение, и получившаяся комбинированная клетка, теперь способная образовать целый организм, является оплодотворенной яйцеклеткой. У ряда простых животных форм одна и та же особь способна вырабатывать как яйцеклетки, так и клетки спермы. Теоретически тогда кажется возможным, чтобы клетка спермы одной особи оплодотворяла свою же яйцеклетку. Но это уничтожает всю цель полового размножения, и такое животное обычно устроено так, что подобной формы оплодотворения происходить не может. Земляной червь, например, вырабатывает как яйцеклетки, так и клетки спермы. Но размножение происходит только тогда, когда два земляных червя вступают в контакт таким образом, что область, вырабатывающая сперму одного, располагается рядом с областью, вырабатывающей яйцеклетку другого. Каждый земляной червь оплодотворяет другого, а не себя самого.

Естественным этапом, который бы устранил всякую возможность самооплодотворения и удостоверял бы, что цель полового контакта достигнута, является такое положение дел, при котором особи вырабатывают только яйцеклет-

ки или только клетки спермы, но никак не то и другое вместе. Яйцеклетки вырабатывают особи женского пола, а сперму — особи мужского пола. Все позвоночные, включая конечно же и человека, разделяются таким образом по половому признаку.

Яйцеклетка

Когда одноклеточное разделяется, каждая дочерняя клетка уже достаточно большая и достаточно сложная, чтобы продолжать жить своей отдельной жизнью. Очевидно, она рождается уже зрелой. Оплодотворенная яйцеклетка даже самого простейшего многоклеточного животного должна подвергнуться ряду клеточных делений, прежде чем станет достаточно большой и достаточно специализированной, чтобы существовать независимо. В период развития клеточной массе требуется энергия, а поскольку она не может питаться, то должна иметь предварительный запас питания. Яйцеклетка, следовательно, содержит в себе питательное вещество, или желток (из названия следует, что обычный его цвет желтый), в достаточном количестве, чтобы заполнить пробел между оплодотворенным яйцом и организмом, достаточно сложным, чтобы кормиться независимо. Из-за наличия желтка яйцеклетка больше, чем обычная клетка, и еще гораздо более неподвижна, благодаря этому.

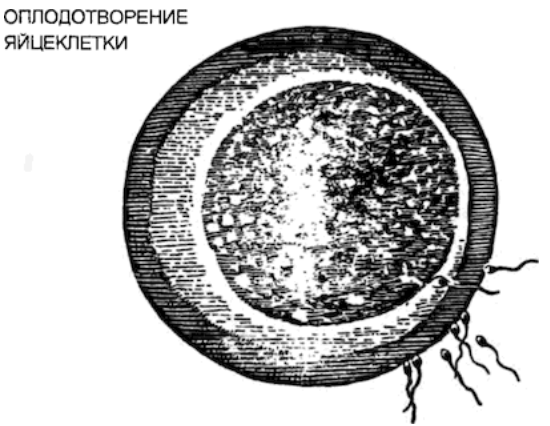
Если процесс оплодотворения, в котором участвуют клетка спермы и яйцеклетка, должен

состояться, вся ответственность за то, что они все-таки встретятся, должна лежать на клетке спермы. Следовательно, клетка спермы должна быть подвижной. Для достижения этого клетка спермы довольно легкая, поскольку не содержит никакого запаса питательных веществ. Ей нужно всего лишь прожить достаточно времени, чтобы проделать путь от места высвобождения до места, где находится яйцеклетка. Если ей не удается этого сделать, то смысла своего существования она не оправдала и, следовательно, нет причины кормить ее дальше. Ей также не нужно иметь цитоплазму, поскольку у яйцеклетки ее достаточно для двоих.

Короче говоря, клетка спермы не нуждается ни в чем, кроме ядерного вещества внутри, которое лежит в основе механизма наследственности. По этой причине сперматозоид гораздо меньше, чем среднестатистическая клетка, настоящий пигмей в сравнении с раздутой от желтка яйцеклеткой. Тем не менее обе клетки, крошечная клетка спермы и гигантская яйцеклетка, содержат равное количество ядерного вещества и обе делают равный вклад в наследственность нового организма.

Для приведения в движение крошечной клетки

спермы достаточно всего лишь жгутика. С помощью его сперматозоид, по виду напоминающий микроскопического головастика, устремляется по воде к яйцеклетке — при условии конечно же, что она находится в водной среде.



Оплодотворение морских существ, поскольку они находятся в водной среде, довольно несложное. Самка откладывает икру в каком-нибудь укромном местечке, затем поджидающий самец подплывает к икринкам и извергает поток клеток спермы. Сперматозоиды движутся по направлению к яйцеклеткам, а оба родителя преспокойно

уплывают прочь — они выполнили свою работу.

У наземных животных все гораздо сложнее, поскольку сперма не может перемещаться по воздуху или по земле. Следовательно, необходимо, чтобы самец выделял не только сперму, но и жидкость внутри прохода, через который в конечном итоге будут отложены яйца. Клетки спермы доберутся до яйцеклеток внутри тела самки, и, когда позднее будут отложены икринки, они окажутся уже оплодотворенными. Этот процесс оплодотворения внутри тела называется *копуляция* (спаривание), и для этой цели у самца развился орган копуляции, который он может ввести в организм самки[12].

Беспомощность икринки (или яйцеклетки) на протяжении всего времени, пока она не разовьется в отдельный организм, обусловливает необходимость с точки зрения выживания достичь стадии независимого организма как можно быстрее. Но чем сложнее тип, тем больше времени требуется для развития до того момента, когда организм разовьется полностью. Во многих

---

[12] Примечания: 12

Человек, подобно другим наземным животным, должен осуществить процесс копуляции, если хочет продолжить свой род. Но поскольку есть некая ненужная стыдливость в обсуждении этого процесса, который в нашей культуре считается очень личным, он был обозначен довольно пристойным термином «половое сношение».

случаях достигается компромисс: яйцеклетка поспешно устремляется к стадии независимого организма до того, как достигается полное развитие организма. Такой упрощенный, но самостоятельный организм — личинка. Личинка питается и растет до тех пор, пока не будет готова заново родиться и стать взрослой особью. (Иногда стадия личинки становится все более и более важной и фактически подменяет собой стадию взрослой особи.)

Лучше всего нам знаком этот феномен на примере определенных насекомых, поскольку всем известно, что гусеница на определенной стадии жизненного цикла становится почти снова яйцом, только в форме кокона, и появляется из него уже взрослой бабочкой. У позвоночных самым известным примером может служить лягушка, поскольку появляется из икринки в личиночной стадии в виде головастика и позднее постепенно превращается в лягушку, однако без обездвиживания себя на стадии кокона в процессе этого превращения.

Несмотря на это, смертность на стадии личинки очень высока, ведь личинки слишком малы и слишком примитивны, чтобы быть столь же удачливыми при самозащите, как взрослые осо-

би. Поэтому для обеспечения выживаемости вида наиболее общим приемом служит откладывание икры в большом количестве, в надежде, что из всего этого большого количества по крайней мере несколько выживут и достигнут зрелости при стечении благоприятных обстоятельств. Такое действительно происходит, иначе большая часть видов рыб исчезла бы к настоящему времени.

Альтернатива этому — позаимствовать какую-нибудь форму защиты для икры (яиц) и личинок до тех пор, пока они не смогут сами о себе позаботиться. Так, некоторые рыбы строят гнезда или держат икру в карманах своего тела или во рту до тех пор, пока мальки не достигнут определенной стадии развития. Есть даже случаи, когда оплодотворенные яйцеклетки остаются внутри полостей организма самки до стадии личинки.

Однако у морских животных такие защитные способности развиты слабо.

У наземных позвоночных забота о яйцах становится более важной по нескольким причинам. Прежде всего, на земле стадия личинки должна быть упразднена. Земля как среда обитания невероятно сурова и жестока по сравнению с ласковым морем, в котором изначально и возникла жизнь. С силой притяжения нельзя справиться

одной лишь способностью держаться на поверхности суши, ее приходится преодолевать с помощью хорошо развитых мышц; атмосферу можно вдыхать лишь хорошо развитыми легкими, а воду сохранять в хорошо развитых почках. Молодые рептилии, следовательно, должны появляться из яиц меньшими, чем взрослые особи, и, по-видимому, более слабыми, но никоим образом не более простыми по строению. Они всегда похожи на взрослые особи и способны вести самостоятельный образ жизни, ничем не отличающийся от образа жизни их родителей.

Опустить стадию личинки означает продолжить стадию развития внутри яйца, что, в свою очередь, означает, что яйцо должно содержать большое количество желтка. Следовательно, каждое яйцо представляет собой огромное хранилище пищевых запасов, и из-за его размеров существует строгий лимит количества откладываемых яиц. В то время как рыбы и лягушки могут откладывать огромное количество икринок и полагаться на случай, что некоторым из них удастся выжить, рептилии и птицы должны откладывать небольшое количество яиц и, следовательно, заботиться о них. Рептилии могут прятать свои яйца в песке и даже оставаться поблизости до

тех пор, пока малыши не начнут вылупляться, но птицы — вот классический пример существ, которые заботятся о своих яйцах.

Забота о яйцах стала большей необходимостью в связи с тем фактом, что птицы — теплокровные. Это очень большое преимущество для выживания, поскольку механизм организма работает с одинаковой скоростью при любых изменениях внешней температуры. Птицы столь же энергичны прохладным утром, сколь и жарким полуднем, им не нужно, как рептилиям, ждать, когда солнце разогреет их вялые, скованные холодом мышцы. Птицы смогут пережить зимние холода без особых усилий, если только найдут пищу.

Но тепло нужно как-то поддерживать. Ткани птиц могут выдерживать холод ничуть не дольше, чем ткани рептилий. Птица, достигнув зрелости, должна поддерживать температуру до тех пор, пока жива, но как быть птенцу, развивающемуся внутри яйца? Он слишком мал, чтобы производить тепло со скоростью, достаточной для компенсирования излучения тепла с поверхности яйца. Из оставленного без присмотра яйца птенец никогда не вылупится. Вот почему родитель (обычно мать, хотя иногда и отец) должен

высиживать яйца, согревая их теплом своего тела. Это утомительное занятие, но оно обеспечивает выживание всех, или почти всех, яиц. Даже после рождения птенцов птицы-родители зачастую вынуждены переносить продолжительные и тяжкие испытания, поскольку должны вкладывать пищу в постоянно разинутые клювики своих еще беспомощных малышей.

Альтернатива сложной заботе о яйце и птенце, которую проявляют птицы, возникает по причине тенденций, наблюдаемых у рептилий и даже у некоторых акул. Иногда оплодотворенное яйцо удерживается внутри прохода, который обычно служит ему дорогой во внешний мир, и хранится там до выхода из него детенышей. Такие животные откладывают скорее детенышей, а не яйца. Поскольку животные, откладывающие яйца, называются *яйцекладущими*, то те, которые удерживают яйца в себе и выдают уже готовый «результат», — *яйцеживородящими.* Яйцам яйцеживородящих животных обеспечено выживание до тех пор, пока жива мать, а это само по себе важно. Но для нас еще важнее тот факт, что яйцеживорождение стало выполнять еще и дополнительную функцию. Когда особая группа рептилий обзавелась теплой кровью и пред-

ставители ее стали первыми примитивными млекопитающими, сохранение яиц внутри прохода служило не только защитой, но и средством поддержания в них определенной температуры. Таким образом, яйцеживородящие заимели нечто вроде внутреннего инкубатора.

Плацента

Первые млекопитающие имели не полностью развитой механизм яйцеживорождения. Мы знаем об этом, потому что некоторые из них сохранились до наших дней, правда только в Австралии и Новой Гвинее. Эти страны отделились от Азии еще до того, как появились высшие и более эффективные виды млекопитающих. Избежав конкуренции с появившимися позднее, первые млекопитающие выжили на этом отдаленном континенте. В других местах им выжить не удалось. Когда первые исследователи Австралии вернулись с отчетами о животных с волосяным покровом (и, следовательно, млекопитающих), которые, тем не менее, откладывают яйца, их подняли на смех, но оказалось, что они говорили правду. Эти яйцекладущие млекопитающие помещены в отдельный подкласс — яйцекладущие млекопитающие, лишенные плаценты (prototheria, что по-гречески значит «первые животные»). Их яйца не совсем заканчивают свое развитие к тому времени, как появляются из материнского тела, и поэтому их нужно высиживать на последних стадиях развития.

Яйцекладущие млекопитающие, лишенные плаценты, ко всему прочему проявляют и другие примитивные характерные черты. Они являются несовершенными теплокровными, и, хотя и выделяют молоко, один из видов таких животных, утконос, не имеет сосков. Более того, мочеиспускательный канал, прямая кишка и родовой канал этих самых яйцекладущих, лишенных плаценты, вливаются в один общий канал с одним отверстием во внешний мир. Этот единственный канал называется *клоака* (что по-латыни значит «сточная труба»). Клоака вообще-то существует и у других классов позвоночных, но то, что она имеется у млекопитающего, явление необычное. Все млекопитающие, за исключением яйцекладущих, лишенных плаценты, имеют более одного отверстия из таза во внешний мир. Разнообразные выжившие члены этого семейства поэтому были все сразу отнесены к *одноапертурным*, или monotremata (что по-гречески означает «одно отверстие»).

Представителями второго подкласса млекопитающих являются metatheria (что по-гречески означает «промежуточное животное»), и они яйцеживородящие. Яйцо уменьшилось в размерах, и период развития внутри яйца, следовательно,

тоже сократился. Детеныш выходит из яйца до того, как яйцо откладывается, поэтому живой детеныш появляется из родового канала. Однако сокращение срока развития привело к тому, что детеныш рождается слишком недоразвитым, чтобы мог существовать самостоятельно. У него хватает сил только на то, чтобы проделать путь по шерсти матери в сумку на животе и забраться внутрь. Там он прикрепляется к соску и остается в таком состоянии до тех пор, пока не разовьется полностью. То, что не закончилось в яйце, завершается в сумке, и это почти возвращение к стадии личинки. Из-за наличия сумки все виды этого подкласса отнесены к *сумчатым.*

Хотя сумчатым повезло больше, чем одноапертурным, и они сохранились до сегодняшнего дня в большом разнообразии видов, устройство сумки было хуже, чем то, которое последует за этим, так что почти все сумчатые (кенгуру наиболее наглядный пример), подобно одноапертурным, ограничиваются Австралией и близлежащими островами. Единственным сумчатым, обитающим вне данной местности, является американский опоссум, и он выжил только благодаря плодовитости.

Хотя млекопитающие впервые появились

относительно рано — в период расцвета рептилий, — они оставались ничем не выдающимися маленькими животными десятки миллионов лет, на протяжении которых повсюду доминировали рептилии. Суетливые млекопитающие не давали никакого повода предполагать, что в будущем станут хозяевами планеты, и одной из причин, возможно, было то, что они все являлись представителями или prototheria, или metatheria, или же третьей непримечательной и примитивной группы, которая сейчас вымерла.

Только после климатических изменений, возвестивших конец мезозоя, возникла последняя группа млекопитающих, единственная, которая на протяжении долгого времени оказалась действительно преуспевающей. Эти млекопитающие входили в подкласс eutheria (что по-гречески означает «истинное животное»). Входящими в подкласс истинных животных прогресс metatheria был доведен до конца. Яйцо становилось еще меньше, пока не достигло размера булавочной головки, что даже меньше, чем икринки большинства рыб. Для любого животного, столь сложного, как млекопитающее, было невозможно образовать такое яйцо с запасом жизненных сил, которых хватит хотя бы для того,

чтобы добраться до сумки. Поэтому решением было оставить его внутри тела и кормить там. Другими словами, развивающееся яйцо eutheria прикрепляется к стенке родового канала, который образовался в форме растяжимой сумки, или матки, предназначенной для размещения развивающегося яйца или яиц, а также для роста в нем развивающегося детеныша.

Оболочки, которые окружают все амниотические яйца у eutherians, модифицировались в орган, который облегает внутреннюю поверхность матки. Это — *плацента* (что по-гречески значит «лепешка», потому что она плоская и широкая, как блин). У сумчатых, некоторых рептилий и акул и даже у некоторых беспозвоночных образовался орган с функциями, подобными тем, которые выполняет плацента в процессе развития яиц, но только у истинных животных он действительно достиг полного развития, и мы сами конечно же пополнили ряды истинных животных. Плацента богато снабжена кровеносными сосудами, образовавшимися у эм-

бриона[13], в то время как стенки родового канала в равной степени хорошо снабжены кровеносными сосудами, образовавшимися у матери. Определенно, здесь нет безусловно прямой связи. Кровь не перетекает от матери к эмбриону или наоборот. Однако глюкоза, кислород, аминокислоты — все составляющие жизни — поступают из кровеносных сосудов матери в сосуды эмбриона, а двуокись углерода, мочевина и все отходы, образуемые эмбрионом, просачиваются через кровоток матери.

Две артерии ведут от эмбриона по узкому *пупочному канатику*, или *пуповине*, к плаценте, где разделяются на многочисленные капилляры. Они снова собираются в вену, которая отводит кровь назад через пуповину. Естественно, именно эта вена несет артериальную кровь, обогащенную кислородом, взятым из кровотока матери.

---

[13] Примечания: 13

Эмбрион (что по-гречески значит «набухать, опухать внутри») — это общеупотребительный термин, обозначающий развивающегося детеныша до того, как он достигнет стадии самостоятельного существования. У позвоночных этот термин используется только для обозначения ранних стадий внутриутробного развития, более поздние стадии обозначают термином «fetus», то есть плод. У человека развивающаяся яйцеклетка является эмбрионом в первые три месяца, а потом — плодом.

ПУПОЧНЫЙ КАНАТИК И
ПЛАЦЕНТА В РАЗРЕЗЕ



Артерии пуповины несут венозную кровь. (Это аналогично ситуации с легочной артерией и венами у способного к самостоятельной жизни человека (см. главу 6), а также логично, поскольку у эмбриона плацента выполняет ту же функцию, что и легкие у независимо существующего человека.)

Развивающийся детеныш обладает формой гемоглобина, несколько отличающейся от обычного. Такой гемоглобин образует более тесную связь с кислородом, чем гемоглобин взрослого человека, ведь кислород, так сказать, отрывается от гемоглобина матери гемоглобином плода и легко проникает через оболочки от матери к плоду, но не наоборот. Гемоглобин плода начинает заменяться гемоглобином взрослого еще до рождения, и этот процесс завершается через четыре

месяца после рождения.

Когда детеныш появляется из матки, плацента и другие оболочки выходят как *послед*, или *детское место.* Пуповина отрывается, но место, к которому она когда-то была прикреплена, у человека ясно видно. Это — *пупок*, или пуп.

Имеющих плаценту истинных животных иногда называют плацентарными млекопитающими. Иногда также eutherians и metatherians объединены в один подкласс theria (по-гречески «животные») и считаются отдельными группами этого подкласса, но подобные усовершенствования классификации нас с вами не касаются.

Женские половые органы

Органы, участвующие в процессе репродукции, можно объединить в одно понятие *половые (детородные) органы*, или *гениталии* (что по-гречески означает «родить»). Из них наиболее важными являются те, которые образуют яйцеклетки у женщин и клетки спермы у мужчин. Это — половые железы, или *гонады* (по-гречески «генератор»); в дополнение к половым клеткам они выделяют гормоны, которые управляют изменениями, происходящими в человеческом организме в пубертатном периоде, и поддерживают репродуктивную систему в рабочем состоянии.

Женские гонады, в которых образуются яйцеклетки, естественно, называются *яичниками.* У взрослой женщины яичники представляют собой пару небольших по размерам органов, по форме напоминающих крупную уплощенную оливку, длиной 1,5 дюйма, шириной 1 дюйм, а толщиной 0,5 дюйма. Сначала они образуются в области почек, но в процессе развития плода опускаются в область таза, где и остаются, располагаясь чуть более вентрально, чем прямая кишка, но более

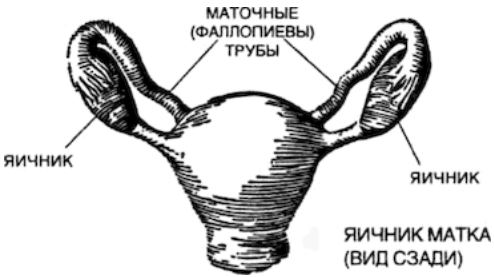
дорсалью, чем мочевой пузырь.

Яичник содержит до 400 000 потенциальных яйцеклеток, каждая из которых расположена в примитивном *граафовом пузырьке*, названном так в честь голландского анатома XVII века Ренье де Граафа. В начале пубертатного периода, когда у девушки начинают происходить важные гормональные изменения, питуитарной железой выделяется гормон, стимулирующий образование пузырьков. Этот гормон вызывает созревание яйцеклетки внутри яичника, но обычно только одной за раз и с интервалом в четыре недели. Это продолжается чуть более тридцати лет, и за этот период образуется примерно 400 зрелых яйцеклеток, по одной на каждую тысячу потенциальных яиц. (Одновременно будут образовываться несколько пузырьков, но обычно только один доходит до конца, другие, дегенерирующие впоследствии, — фальстарт.)

Потенциальная яйцеклетка, также называемая *овоцит* (незрелая яйцеклетка), вместе со своим пузырьком растет и развивается, минуя несколько сложных стадий, до тех пор, пока не становится больше любой другой клетки человеческого организма. Эмбрион получает питание от матери через плаценту, но должен быть доста-

точно обеспечен желтком, чтобы пройти самые первые стадии развития, во время которых прикрепляется к стенке матки и образует плаценту. Однако яйцеклетка, хотя и самая большая клетка человека, в прямом смысле не так уж и велика — диаметр ее около $^{1}/_{120}$ дюйма, что делает яйцеклетку видимой невооруженным глазом как мельчайшую крупинку. Примерно десять дней спустя после начала развития овоцита пузырек, который стал достаточно большим, чтобы торчать из яичника, подобно крошечному волдырю, разламывается, и яичник освобождается от содержимого в полость тела. Это овуляция. Разорвавшийся пузырек заполняется сначала кровью, а затем желтым жирообразным веществом. Тогда он называется corpus luteum (*желтое тело*). Рядом с каждым яичником имеется проток длиной около 5,5 дюйма, называемый *фаллопиева труба* (в честь итальянского анатома XVI века Габриеле Фаллопия). Она раздвигается рядом с яичником, образуя широкое, окаймленное бахромкой (или, по-латыни, фимбрией) отверстие. Яйцеклетка, высвобождаясь из своего пузырька, попадает в это отверстие, медленно продвигается по трубе. Фаллопиева труба выстлана ресничками, которые проталкивают яйцеклетку по трубе. Во время

нахождения в фаллопиевой трубе яйцеклетка проходит завершающие этапы развития.



Именно в фаллопиевой трубе яйцеклетка встречается с клеткой спермы, если таковая находится поблизости. Они будут там находиться, конечно, только в том случае, если копуляция (соитие) имела место во время овуляции. Если копуляции не было, яйцеклетка остается неоплодотворенной и спустя один-два дня ожидания погибает.



ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ ФАЛЛОПИЕВОЙ ТРУБЫ И ЯИЧНИКА

Поскольку овуляция у женщин происходит обычно раз в четыре недели, это означает, что она способна к зачатию всего несколько дней в месяц. Это ожидание оплодотворения в случае копуляции у человека более выражено, чем у большинства млекопитающих. У многих млекопитающих овуляция происходит только в определенное время года, именно в это время самки приглашают к копуляции. У самцов происходят гормональные изменения, повышающие сексуальную активность, и копуляция, которая затем имеет место, почти неизбежно ведет к оплодотворению.

Женщина может изъявлять несколько большую готовность к половой активности во время овуляции, нежели в какое-либо другое время, но

для человека разумного «сезонной активности» не существует. Человек — существо достаточно капризное, чтобы стремиться вступать в сексуальные отношения в какой-то определенный период времени, и никак не в другой, но это не имеет никакого отношения к календарю. Мужчина и женщина могут вступать в половые сношения в любое время.

Это снижает эффективность копуляции в смысле зачатия, и зачастую сексуальная активность не заканчивается ничем, что касается продолжения рода. Однако подобная неэффективность, понятно, не слишком опасна, принимая во внимание коэффициент рождаемости и рост населения.

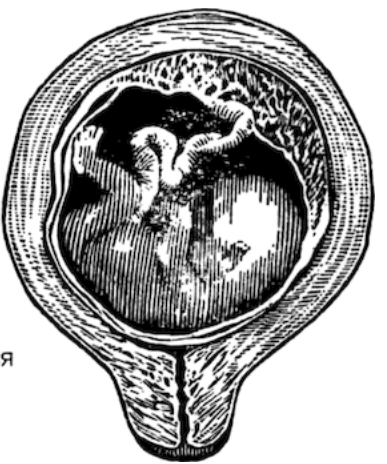
Фаллопиевы трубы, по одной с каждой стороны, ведут в полый грушевидный орган, расположенный в средней плоскости тела, сразу над мочевым пузырем. Это — *лоно*, или *матка.* Матка имеет сильные мышечные стенки и слизистую оболочку в качестве внутреннего выстилающего слоя, богато снабженную кровеносными сосудами. Этот внутренний слой называется *эндометрий* (что по-гречески значит «внутреннее лоно»). По мере того как яйцеклетка продвигается по фаллопиевой трубе, желтое тело, которое она оставила после себя, вырабатывает гормон, под-

готавливающий эндометрий к приближающейся яйцеклетке. Эндометрий становится мягким, влажным и даже лучше снабжается кровью. Когда оплодотворенная яйцеклетка входит в матку, она прилипнет к эндометрию и начнет образовывать плаценту. Она останется в матке на весь срок эмбрионального и фетального развития, и на протяжении этого времени матка будет расти вместе с развивающимся младенцем. Как нам всем хорошо известно, увеличение в размерах становится заметным во второй половине беременности.

В редких случаях одновременно созревает больше одной яйцеклетки, и если клетки спермы их поджидают, то, если оплодотворяются две яйцеклетки, развивается и рождается двойня, три — тройня, и так далее.

Двоих детей, рожденных одновременно из отдельных яйцеклеток, оплодотворенных отдельными клетками спермы, называют *двуяйцевыми* (дизиготными) *близнецами.* Каждый из них имеет собственный набор факторов наследственности, и они похожи друг на друга не больше, чем похожи друг на друга обычные братья и сестры, рожденные в разное время. Двуяйцевые близнецы не обязательно одного пола.

Но случается и так, что одна оплодотворенная яйцеклетка в процессе развития распадается на две половины, каждая из которых может продолжать развиваться и образовать целый организм. (Эта форма бесполого размножения имеет место даже у человека.) Поскольку два этих организма происходят из одной клетки, оплодотворенной одной спермальной клеткой, у них одинаковый набор наследственных факторов. Это *однояйцевые* (монозиготные) *близнецы*, они всегда одного пола и всегда очень похожи. Бывает, что однояйцевых близнецов рождается сразу трое, четверо и даже пятеро.



РАЗВИВАЮЩИЙСЯ ПЛОД ВНУТРИ ПЛАЦЕНТЫ

Было установлено, что двуяйцевые близнецы численно превосходят по количеству однояйцевых в соотношении три к одному, двойня рождается в 1 случае из 85, тройня — из 7500, четыре близнеца появляются на свет в 1 случае из 650 тысяч, а пять — из 57 миллионов. Чем больше детей рождается, тем меньше в среднем они должны весить и тем меньше преуспеть в развитии. Следовательно, шансов на выживание становится меньше с ростом числа новорожденных. Именно поэтому весь мир был поражен, когда в далеком 1934 году миссис Оливия Дионне родила пять девочек-близнецов (однояйцевых), причем все были живы. Это был первый случай, отмеченный в истории.

Если яйцеклетка не оплодотворена, то, как я уже говорил ранее, попадая в матку, она быстро погибает. Желтое тело также постепенно уменьшается, оставляя рубец на яичнике. (С возрастом из-за повторяющихся овуляций яичник утрачивает свою изначально гладкую внешнюю поверхность, она становится неровной и покрыта ямками из-за образования рубцов.)

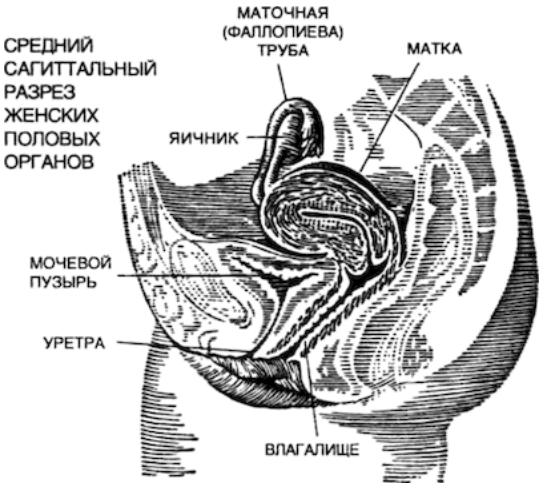
Когда желтое тело исчезает, его гормон также исчезает, и эндометрий начинает разрываться и вместе с некоторым количеством крови вы-

деляется из организма в течение нескольких дней через отверстие в узком нижнем конце грушеобразной матки, называемое *шейка.* Это цервикальное (шеечное) отверстие ведет в трубку длиной 3 дюйма — *влагалище*, или вагину (по-латыни «ножны», поскольку во время полового сношения она служит как бы «ножнами» для пениса). Влагалище открывается наружу сразу позади гораздо более узкого *мочеиспускательного канала*, или уретры, и немного не доходя до ануса. Чувствительная область вокруг трех этих отверстий — *промежностъ.*

Отверстия влагалища и мочеиспускательного канала, когда бедра находятся в обычном положении, закрыты двумя складками ткани. Внутренняя складка — это labia minora (что по-латыни означает «малые губы»), а внешняя — labia majora (что по-латыни означает «большие губы»). Влагалищное отверстие и губы, закрывающие его, иногда называют *вульвой*, или наружными женскими половыми органами. В переднем конце вульвы между двумя малыми половыми губами находится небольшой орган, длиной всего дюйм, хорошо снабженный нервными окончаниями и очень чувствительный. Это — *клитор* (от греческого слова «окружать», возможно, потому,

что его окружают губы).

Через вагину удаляется содержимое матки. Если имело место удачное оплодотворение, именно оттуда появляется младенец.



Когда оплодотворения не происходит, отмерший эндотелий вместе с отработанным материалом должен медленно выйти из организма, этот процесс длится несколько дней и называется *месячные*, или *менструация.* Когда менструация заканчивается, цикл начинается снова, и созревает новая яйцеклетка.

Цикл и сопровождающие его месячные начинаются приблизительно на тринадцатом году жизни. Месячные приходят каждый месяц (отсюда их название), если только не прерываются из-за беременности. В сорок пять — пятьдесят лет они становятся нерегулярными, потом приходят все реже и реже и в конце концов прекращаются. Период, когда месячные прекратились, называется *менопауза* (что по-гречески означает «прекращение менструаций»). Весь процесс может быть не слишком приятным для женщины. Месячные иногда бывают болезненными, им может предшествовать период нервного напряжения и депрессии. Порой во время менструации трудно заниматься повседневными делами без предосторожностей, которые иногда неудобны и обычно причиняют беспокойство, особенно потому, что приличия требуют, чтобы об этом недомогании вообще не упоминалось. Первые месячные иногда вызывают испуг у юной девушки, которая недостаточно подготовлена к этому, а менопауза может длиться месяцы и даже годы, сопровождаясь неприятными симптомами, пока организм приспосабливается к изменению продолжительного гормонального цикла.

Большая эмоциональная нестабильность

женщин по сравнению с мужчинами может возникать отчасти из-за неудобств, вызываемых этим циклом, а отчасти из-за связанных с ним физических недомоганий и перепадов настроения.

Древние греки чувствовали связь между эмоциональным состоянием женщины и ее половыми органами. По-гречески женский половой орган матка и истерика обозначаются одним термином, которым мы до сих пор пользуемся, когда говорим о хирургическом удалении матки, называя его *гистерэктомия.* Древние греки догадывались о некой связи между маткой и эмоциями, неконтролируемый взрыв которых мы до сих пор называем истерией. Однако, как нам всем известно, мужчины тоже бывают истеричными, хотя у них нет такого оправдания, как женская матка.

Мужские половые органы

Мужские гонады (половые железы) состоят из пары *тестикул* (яиц, или яичек, — последний термин — уменьшительная форма первого). Слово произошло от латинского термина «свидетельствовать». Тому есть несколько объяснений, по наиболее логичным кажется то, что наличие у мужчины яичек указывало на его принадлежность к мужскому полу.

В древние времена в этом было больше смысла, чем сейчас, потому что тогда существовал широко распространенный обычай отрезать яички у молодых рабов. Это называлось *кастрация.* Кастрация не мешала росту и не угрожала жизнедеятельности, но, поскольку яички выделяют гормоны, которые у мужчины вызывают изменения, связанные с половой зрелостью, у кастрированного юноши не росла борода, голос не становился низким, и конечно же он был лишен влечения к противоположному полу и не был способен на половые сношения. Кастрированный мужчина — это евнух (что по-гречески значит «страж спальни»). Так его называли потому, что его можно было использовать в качестве охран-

ника, при котором женщинам гарема не грозили никакие сексуальные домогательства. Обычный мужчина с нормальными сексуальными способностями явно не подходил для подобной должности. К счастью, жестокая и унизительная практика кастрации стала неупотребительной в цивилизованном мире.

Яички размером и формой несколько напоминают женские яичники и, подобно им, изначально формируются в области почек и опускаются в процессе развития эмбриона. У немлекопитающих позвоночных они остаются внутри таза, подобно женским яичникам, однако у млекопитающих опускаются ниже. У человека примерно за месяц до рождения они выходят из таза, проталкивая впереди себя брюшину. В процессе этого яички оказываются в кожаном мешке, называемом *мошонка.*

Мошонка висит между бедрами, поэтому яички имеют температуру на несколько градусов ниже, чем имели бы, находясь внутри тела. Это важно для нормального развития клеток спермы. Случается, что ребенок рождается с яичками, которые не завершили процесс выхода из таза. Это состояние называется *крипторхизм* (по-гречески «спрятанные тестикулы»), или неопущение

яичка[14]. Мужчина с крипторхизмом неизбежно стерилен, очевидно, потому, что сперма не может развиваться при температуре тела.

Внутри яичка расположено множество очень узких трубочек, которые скручиваются и извиваются. Это — свернутые в спираль семявыносящие трубочки. Внутренняя оболочка этих трубочек состоит из множества клеток, которые непрестанно делятся, образуя крошечные клетки спермы. Головка клетки человеческой спермы, которая содержит нуклеарный (ядерный) материал, имеет длину всего 0,004 миллиметра. Это очень маленькая клетка, поскольку составляет всего одну треть от объема эритроцита, который и сам чрезвычайно мал. К головке клетки спермы прикрепляется хвост (жгутик), длина которого может достигать 0,15 миллиметра, но длина клетки спермы, включая хвост, значительно меньше, чем диаметр раздутой женской яйцеклетки. Клетка спермы по объему менее $^{1}/_{100\,000}$ женской яйцеклетки.

Каждая свернутая спиралью семявыносящая

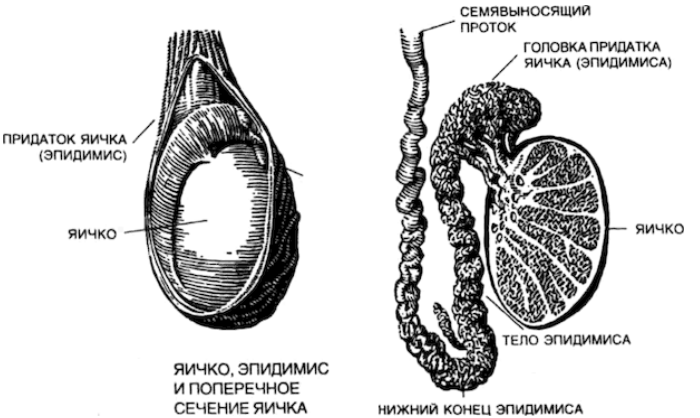
---

[14] Примечания: 14

По-гречески слово «тестикула» означает орхидея, цветок так называется из-за формы трубочки, похожей на мужское яичко, из которой вырастает. Вне всякого сомнения, не много женщин из тех, кто носит орхидеи на корсаже, осведомлены о «семантической» неуместности этого.

трубочка, если ее выпрямить, будет 1–2 фута длиной. Поскольку в каждом яичке их около 800, каждый мужчина имеет в общем около полумили спермообразующих трубочек. Поэтому неудивительно, что чрезвычайно крошечные клетки спермы постоянно производятся в огромном количестве. В отличие от женской яйцеклетки, похоже, нет верхнего предела числу клеток спермы, которые могут образовываться у мужчины до преклонного возраста.

По мере образования клетки спермы передвигаются по трубочкам и собираются в протоках, которые объединяются и в конечном итоге сливаются в большую свернутую спиралью трубку, которая раскрывается в верхней части каждого яичка. Это *эпидимис* (что по-гречески означает «над близнецами», под «близнецами» конечно же скромно подразумеваются яички) — придаток яичка. Эпидимис проходит по всей длине яичка, постепенно сужаясь, затем распрямляясь, а потом снова разворачиваясь вверх в качестве — относительно узкой и прямой трубки семявыносящего протока. Этот семенной проток длиной около 2 футов несет клетки спермы в таз вокруг мочевого пузыря и вниз в направлении мочеиспускательного канала — уретры.



ЯИЧКО, ЭПИДИМИС И ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ ЯИЧКА

У основания мочевого пузыря имеются два семенных пузырька, выделяющие жидкость, которая транспортируется по небольшому протоку в семенной проток. После этой точки соединения с последним отрезком протока, называемым *семявыбрасывающим протоком*, и сперма и жидкость направляются в уретру. Отверстие полового органа, таким образом, объединяется с отверстием уретры, поэтому у мужчин из таза

ведут только два отверстия, в отличие от трех, имеющихся у женщин.

По соседству с областью, где семявыбрасывающий проток входит в уретру, находится орган, по форме напоминающий плод каштана, — *предстательная железа*, или *простата.* Предстательная железа секретирует в уретру густоватую жидкость, которая, очевидно, служит для улучшения подвижности спермы и обеспечения более подходящего окружения для нее. Конечная жидкость, в которую погружается сперма, — это семя. (Простата может быть источником значительных неприятностей в поздние годы жизни мужчины, поскольку у нее есть тенденция увеличиваться, что затрудняет мочеиспускание, поскольку железа близко прилегает к уретре. К тому же, как ни печально, существует большая вероятность развития рака предстательной железы.)

Мужская уретра проходит вдоль пениса, который состоит из трех скоплений кавенозной ткани (*пещеристых тел*), удерживаемых вместе соединительной тканью. Кавенозная ткань представляет собой губчатую массу, состоящую по большей части из кровеносных сосудов. При надлежащем стимуле артерии, несущие кровь к пенису, расширяются, а вены, выносящие кровь,

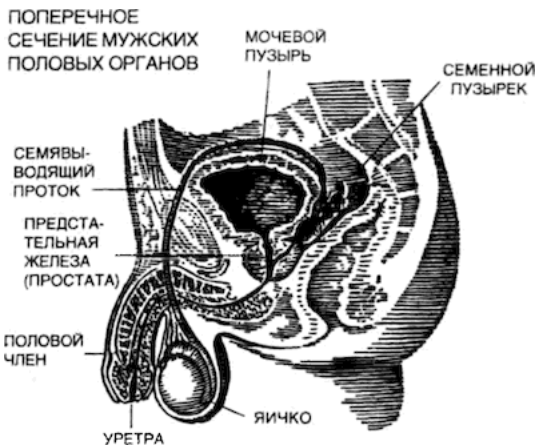
сужаются. Кровь может поступать к органу, но не отливать от него. Пенис, налившийся кровью, становится твердым и напряженным.

Самая нижняя из трех скоплений кавенозной ткани (та, через которую проходит уретра) расширяется на конце, образуя мягкий, гладкий, не покрытый волосами и чувствительный кончик полового органа. Этот кончик называется *головка полового члена.*

При обычном состоянии пениса головка покрыта кожной складкой, называемой *крайняя*, или *препуциальная* (по-латыни «перед пенисом») *плоть.* У евреев, мусульман, а также представителей других конфессий религиозный обряд выстроен вокруг удаления крайней плоти, эта процедура называется *циркумцизия* (от латинского «обрезать по кругу»), или *обрезание.* После этой процедуры головка пениса остается видимой все время. Обрезание становится более распространенным среди общей массы населения, вне зависимости от религиозных убеждений, поскольку носит гигиенический характер. Обрезанный пенис гораздо легче содержать в чистоте. По-видимому, вполне понятно, что обрезание никоим образом не вредит половой активности.

Длина пениса в расслабленном состоянии око-

ло 4 дюймов, а при эрекции — около 6 дюймов. Длина пениса, как ни странно, почти одинакова у всех мужчин и не зависит от общего размера тела. Эрегированный пенис при половом сношении помещается в женскую вагину (влагалище). На пике активности, которая следует за этим, половые органы и мужчины и женщины подвергаются ряду спазматических мышечных сокращений, что приводит к *оргазму* (от греческого слова «кипеть»). Перистальтическое движение начинается в яичках и захватывает эпидимис и протоки, гоня клетки спермы и семя вперед и выбрасывая их из отверстия уретры во влагалище. Этот процесс называется *эякуляция* (от латинского слова «выбрасывать»), или *семяизвержение.* Около 3–4 миллилитров семени выбрасывается при эякуляции, и в них может содержаться до полумиллиарда (!) клеток спермы.



Женские половые органы также начинают перистальтическое движение, направление этого движения скорее внутрь, чем наружу, так чтобы клетки спермы были втянуты в фаллопиевы трубы. Только одна клетка спермы может слиться с яйцеклеткой, но сотни миллионов других тоже выполняют свою функцию. Это подтверждает тот факт, что, когда число клеток спермы в единичной эякуляции падает ниже 150 миллионов, оплодотворения в большинстве случаев не происходит. Хотя только одна клетка спермы нужна для проникновения в яйцеклетку, многие другие, видимо, необходимы, чтобы выделять ферменты

в достаточном количестве, для расщепления защитной оболочки яйцеклетки, чтобы эта самая единственная клетка спермы могла попасть внутрь.

После того как яйцеклетка оплодотворена, начинается процесс, который через девять месяцев превратит ее в человеческий организм с очень сложным строением, описанным в этой книге. Из этой одной клетки в конечном счете получается структура, в которой каждая кость и мышца на своем месте, каждый нерв и кровеносный сосуд располагается там, где ему надлежит быть, каждый орган готов выполнять свою функцию. И в конечном счете организм с таким строением достигает достаточной зрелости, чтобы принять участие в появлении еще одного нового организма. И мы надеемся, что этот процесс будет продолжаться до бесконечности.

Постскриптум
Наше долголетие

В конце 1961 года умерла известная всей Америке художница-примитивистка бабушка Мозес. Она начала свою карьеру художницы довольно поздно, когда ей было почти восемьдесят лет. Тем не менее, она получила удовольствие от многих лет в творчестве, поскольку умерла в возрасте ста одного года. Я упомянул об этом потому, что в этой книге о сложности человеческого организма я особо подчеркивал те многочисленные недомогания и расстройства, которые могут его поразить. По-видимому, мне следует на мгновение обратить внимание на обратное.

Автомобиль, несмотря на то что является одной из самых безупречных машин человечества, считается древним, если ему десять лет. Человеческое тело гораздо более хрупкое и в гораздо меньшей степени поддается ремонту (автомобильный двигатель можно заменить; человеческое сердце — нельзя), работу его нельзя остановить для капитального осмотра, но, подвергаясь гораздо большим и более продол-

жительным трудностям, оно может протянуть сотню лет.

Нет нужды сравнивать человеческий организм только с неживыми предметами. Сколько живых существ, которые встречали свой первый день и отвечали на изменения окружающей среды в момент рождения бабушки Мозес в 1860 году, все еще были живы в день ее смерти в 1961 году? Список крошечный. Некоторые деревья могут жить веками и даже тысячелетиями. Некоторые гигантские черепахи могут прожить двести лет и более. Однако нет сведений о том, что хоть одно живое создание, кроме человека, перешло столетний рубеж. (Наверняка существуют легенды о долголетии таких живых существ, как лебеди и попугаи, но в действительности не было замечено, чтобы хоть одно из них прожило достаточно долго, чтобы приблизиться к вековой отметке.) Когда бабушка Мозес умерла, мир живых 1860 года представляли несколько деревьев, очень немного черепах — и горстка стариков и старушек.

Теперь обратим внимание на то, что деревья живут медленно, остаются укоренившимися и флегматично противостоят ударам окружающей среды. Они покупают долголетие ценой пассив-

ности. Гигантская черепаха двигается, но лишь еле-еле. Она покупает свое долголетие ценой медленного движения хладнокровных. Однако человек — существо теплокровное и столь же быстрое в движениях, как любое живое существо. На протяжении жизни он соревнуется в скорости со всеми организмами, которые, подобно ему, быстро двигаются, и почти всеми организмами, которые, в отличие от него, ползают, и все-таки умудряется их пережить.

Давайте ограничимся земными представителями рода, к которому принадлежит человек, — млекопитающими. В этом случае мы лучше всего можем провести сравнения, поскольку все его члены — теплокровные и строение всех в принципе почти одинаково, за исключением некоторых довольно незначительных отклонений.

Оказывается, долголетие тесно связано с размером: чем больше млекопитающее, тем дольше живет. Таким образом, самое маленькое млекопитающее, землеройка, живет полтора года, а крыса может прожить четыре-пять лет. Кролик способен дожить до пятнадцати лет, собака — до восемнадцати, свинья — до двадцати, лошадь — до сорока, а слон — до семидесяти лет. Определенно, чем меньше животное, тем быстрее

темп его жизни — сердцебиение и дыхание чаще, движения быстрее по отношению к его размеру, оно должно больше есть, а его метаболизм на единицу веса выше. По этой причине продолжительность жизни становится более постоянной величиной, когда измеряется скорее количеством сердечных ударов, чем прожитых лет. Землеройку со скоростью сердцебиения в 1000 ударов в минуту можно сравнить со слоном с 20 ударами сердца в минуту, и окажется, что день жизни землеройки может соответствовать по числу ударов сердца семи неделям жизни слона. Действительно, млекопитающие в общем, кажется, живут в лучшем случае столько, сколько времени потребуется для того, чтобы их сердце сделало около 1 миллиарда ударов.

Но нет правил без исключений. Исключения есть, и самое удивительное из них — человек. Человек значительно меньше лошади и гораздо меньше слона, однако он живет (или может прожить) более ста лет. Не является это и следствием достижений современной медицины; даже в дни, когда медицина была собранием знахарских предрассудков, время от времени люди доживали до весьма преклонного возраста. В то же время животные, получающие наилучший уход и лече-

ние, старятся гораздо быстрее человека.

Не является долголетие и результатом метаболизма, который у человека необычно медленный для млекопитающего. Сердце его делает около 72 ударов в минуту — именно столько и можно ожидать от млекопитающего такого размера. Оно бьется быстрее, чем сердце лошади, и медленнее, чем сердце собаки. За семьдесят лет, что считается средней продолжительностью жизни человека в технологически развитых областях мира, человеческое сердце совершает 2,5 миллиарда ударов. Что же касается сердца бабушки Мозес, то оно совершило более 3,5 миллиарда ударов до того, как она умерла. Принимая во внимание, что у деревьев нет сердца и что у черепах (и вообще хладнокровных животных) сердце бьется очень медленно, можно с уверенностью сказать, что человеческое сердце превосходит все остальные. Безусловно, оно превосходит другие сердца млекопитающих в соотношении 2,5 или даже 3,5 к 1.

Даже ближайшие родственники человека с эволюционной точки зрения не могут за ним угнаться. Шимпанзе, несколько меньше человека по размеру, стареют приблизительно к сорока годам. Горилла, значительно превосходящая человека по размеру, дряхлеет где-то к пятидесяти

годам. В том, что касается сердцебиения, они гораздо больше соответствуют схеме млекопитающих, чем человек.

Следовательно, человеческий организм с абсолютно объективной точки зрения является самой изумительной известной нам конструкцией. Возможно, человек не обладает ни грацией кошки, ни тяговой силой лошади, ни потрясающей силой слона. Он, возможно, не умеет плавать как тюлень, или бегать со скоростью гепарда, или летать, как летучая мышь, но в целом человеческий организм выносливый, и он переживет и превзойдет их всех.

Почему так происходит? Действительно, никто этого не знает, но все-таки можно сделать предположение…

Человеческий организм, подобно другим млекопитающим и, несомненно, подобно другим живым существам, превосходящим уровень микроорганизмов, состоит из множества специализированных клеток. Однако клетки разных организмов похожи друг на друга гораздо больше, чем сами организмы. Клетки любого организма состоят приблизительно из тех же составляющих и участвуют в химических реакциях одной и той же природы. Незначительно отличаются

клетки и по размеру. Клетки землеройки явно не меньше, чем клетки человека, а клетки слона не заметно больше. Разница в размерах организмов возникает благодаря разнице в количестве клеток, а не в их индивидуальных размерах.

Средний человеческий организм состоит приблизительно из 50 триллионов клеток, в то время как огромный слон может состоять всего из 6,5 квадрильона клеток, а маленькая землеройка из 7 миллиардов клеток.

Итак, хотя жизнь организма в основном основана на клетке, она больше, чем просто сумма жизней составляющих организм клеток. Если бы человеческое существо можно было разделить на отдельные клетки и в этих клетках каким-то образом поддерживать жизнь, они не смогли бы воссоздать человеческое существо, будучи просто сваленными в одну беспорядочную кучу. Значит, жизнь многоклеточного организма зависит не только от жизни составляющих клеток, но и от эффективной организации этих клеток в бесперебойно работающее целое.

Смерть вполне может быть результатом нестыковок в этой организации. У человека, который внезапно умирает от сердечного приступа или от удара, почти все клетки живы, жизнеспособны

и находятся в рабочем состоянии. Только относительно небольшое количество клеток умерло, но эти немногие своей смертью разрушили организацию. Можно провести аналогию между организмом и городом. В Нью-Йорке более 7,5 миллиона людей, и все-таки они одни — это еще не город. Допустим, сильный снегопад засыпал городские улицы, или все электричество неожиданно выключилось, или работники городского транспорта устроили забастовку — и город имеет серьезные неприятности. Ни один человек, возможно, не пострадал, население города в целости и сохранности, по организация города нарушилась, и этого достаточно, чтобы создать хаос.

Давайте вернемся к организму. Кажется, вполне справедливо предположить, что чем больше число клеток, составляющих его, тем сложнее межклеточная организация, необходимая для поддержания жизнедеятельности организма. Однако чем больше организм, тем сложнее сконструированы могут быть те органы, что, главным образом, имеют отношение к такой организации. Соревнование этих двух эффектов, кажется, заканчивается вничью у млекопитающих.

Можно утверждать, что жизнь землеройки, прожитая за отведенные ей полтора года, со-

ответствует жизни слона, которую он прожил за свои семьдесят лет, поэтому нагромождение в миллион раз больше клеток (как у слона по сравнению с землеройкой) и строительство соответственно гораздо более сложной организации ничего не дает. Тем не менее это не совсем так. Возросшие размеры обусловливают большую силу и энергию, меньший страх перед хищниками, большую независимость от незначительных превратностей погоды. Короче говоря, большое животное реже бывает добычей, чем маленькие.

Снова возможна аналогия с городом. Большому городу требуется гораздо более сложная организация, чем небольшому городку. Его транспортные проблемы гораздо больше, в нем намного больше грязи и шума, опасность от пожаров, землетрясений или других природных катастроф для него несравненно выше. Потрясающе сложная организация, определяемая размером города, поддерживает его жизнеспособность, однако есть повод для дискуссии, действительно ли жить в небольшом городке столь же удобно (или даже более удобно), чем в метрополисе. И все-таки значительный размер — это не напрасные затраты, именно большие города нации являются центрами ее интеллектуальной жизни, искусства

и культуры и даже благосостояния и комфорта. В Париже и в Нью-Йорке есть нечто такое, чего не может предложить вам какой-нибудь Аббервилль или Уичито (при всей к ним любви и уважении).

Но, снова возвращаясь к организму, в том, что касается человека, он является долгожителем, как с точки зрения сердцебиения, так и в абсолютном времени. Этого нельзя объяснить самой клеткой, поскольку человеческая клетка заметно не отличается от тех, которые обнаруживаются в других организмах. Тогда нам остается только рассмотреть нашу межклеточную организацию. Мне кажется, что долгая жизнь основана на том факте, что межклеточная организация у нас гораздо более развита, чем можно ожидать от одного нашего размера. Следовательно, для распада ей потребуется больше усилий и напряжения, чем может потребоваться межклеточной организации любого другого живого создания. Наверняка по этой причине нам нужно больше времени, чтобы постареть, и мы живем дольше, прежде чем умереть.

А значит, нам требуется больше времени, чтобы созреть. Нам исполнится тринадцать лет, пока мы достаточно созреем для воспроизведения себе

подобных, и восемнадцать, когда мы достигаем нашего полного размера и силы. Ни одному другому млекопитающему не требуется для этого столько времени. Определенно, продолжительный период нашего созревания подтверждает тот факт, что для полного развития высшей человеческой межклеточной организации требуется больше времени.

Нет необходимости считать межклеточную организацию чем-то слишком абстрактным, чтобы унизиться до материального. Та часть организма, которая ближе всего связана с этой организацией, — нервная система (часть организма, которой я не коснулся в этой книге). Ключевой орган нервной системы — мозг, и если и существует человеческий орган, который особенно необычен, так это мозг. Человеческий мозг по размеру не представляет собой ничего исключительного и чудовищного. Ни одно существующее на земле создание размером с человека не приближается к нему по величине своего мозга. Слон имеет несколько больший мозг, но этот мозг должен осуществлять контроль над гораздо большим телом, чем у человека.

Выходит, мы пришли к заключению, что существуют два аспекта человеческого организма,

которые далеко, очень далеко выходят за рамки общей модели млекопитающих. Один — это гигантский мозг человека, а другой — большая продолжительность его жизни. Будет довольно странно, если окажется, что между ними нет никакой связи.

Эта книга посвящена частям человеческого тела, отдельным органам, составляющим его. Может показаться, что то, чего я не коснулся, а именно нервная система и другие органы, контролирующие межклеточную организацию, представляет собой лучшую половину и, действительно, составляет то, что наиболее присуще и характерно человеку. Следовательно, именно этой межклеточной организацией я займусь в книге, посвященной человеческому мозгу.