

Сергей Огнивцев

**БОРЬБА  
СО СТАРЕНИЕМ  
ИЛИ  
НЕ ВСЕ МЫ УМРЕМ ...**



12+

# Сергей Огнивцев

## Борьба со старением, или Не все мы умрем...

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=64004241](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=64004241)*

*SelfPub; 2021*

*ISBN 978-5-532-98497-4*

### **Аннотация**

Для успешной борьбы со старением за долгую и здоровую, в перспективе практически бессмертную жизнь необходимо научиться управлять своими клетками, органами и системами, из которых состоит наш организм. Для этого нужно иметь мысленную модель своего организма. А для создания такой модели нужны знания, которые дает предлагаемая вашему вниманию книга. Администрация сайта ЛитРес не несет ответственности за представленную информацию. Могут иметься медицинские противопоказания, необходима консультация специалиста.

# Содержание

Предисловие. Обращение к читателю	5
Часть 1. Устройство человека	24
Глава 1.1. Из чего состоит, как развивается и работает человеческий организм	25
1.1.1. Человек как управляемое сообщество клеток	25
1.1.2. Как организм развивается из клетки	32
1.1.3. Как клетки формируют тело человека	41
1.1.4. Как клетки живут в нашем теле	53
Глава 1.2. Как устроена клетка	66
1.2.1. Совсем немного биофизики и немного биохимии	66
1.2.2. Как устроена клетка	84
1.2.3. Как размещена в ядре и работает ДНК	100
1.2.4. Как поддерживаются форма и структура клетки, ее энергообеспечение и управление внутриклеточными процессами	110
1.2.5. Как рождается и умирает клетка	122
Глава 1.3. Как устроены системы и органы человека	135
1.3.1. Система пищеварения и энергетического обеспечения человека	135

1.3.2. Дыхательная система	147
1.3.3. Система кровообращения – транспортная система человека	151
1.3.4. Опорно-двигательная система	159
1.3.5. Покровная система и микробиота	163
Конец ознакомительного фрагмента.	166

# Сергей Огнивцев

## Борьба со старением, или Не все мы умрем...

*Говорю вам тайну: не все мы умрем, но все изменимся... <...> Ибо тленному сему надлежит облечься в нетление, и смертному сему – облечься в бессмертие.*

*Новый завет. Первое послание к Коринфянам апостола Павла*

## Предисловие. Обращение к читателю

*Мы живем в немыслимо огромном, фантастически сложном и невероятно красиво организованном мире!*

Наш мир возник 13,7 млрд лет назад из сгустка находящейся в одной точке энергии, масса которой, рассчитанная по формуле Эйнштейна  $E = mc^2$  была равна массе всей существующей ныне Вселенной. Никто не знает почему, но мир вдруг стал расширяться из этой точки с огромной скоростью, многократно превышающей скорость света (в науке это явление называют *инфляцией*). Сейчас это расширение объясняют всепроникающей *темной энергией*, которая

заставляет пространство постоянно и ускоренно расширяться. Мы не знаем, что это такое, но ускоренное расширение Вселенной, начавшееся с момента ее возникновения, продолжается по сей день и достоверно измерено.

Благодаря инфляции за одну секунду мир расширился практически из точки до размеров Солнечной системы. *За эту секунду произошли почти все главные события, определившие нашу с вами судьбу.*

Во-первых, *возникли все четыре взаимодействия (силы)*, управляющие материей в нашей Вселенной: сильное взаимодействие, притягивающее кварки, протоны и другие частицы внутри атомного ядра, слабое взаимодействие, обеспечивающее радиоактивный распад ядер, электромагнитное взаимодействие, являющееся основой химических и, следовательно, биологических взаимодействий, и, наконец, самое известное и таинственное гравитационное взаимодействие, заставляющее материальные объекты притягиваться друг к другу. Других взаимодействий в нашем мире нет!

Во-вторых, из энергии по мере ее остывания при расширении Вселенной *сформировались основные материальные частицы*: кварки, из которых состоят протоны и нейтроны, сами протоны и нейтроны, электроны, нейтрино и т. д. Как мы знаем из приведенной выше формулы Эйнштейна, масса может превращаться в энергию, как при взрыве атомной бомбы, и, наоборот, энергия – в массу, что и произошло при образовании частиц.

В-третьих, образовывались как хорошо нам знакомые, повсюду окружающие нас элементарные частицы, так и *античастицы*. Они состоят из антивещества. Если частица столкнется с античастицей, вся их масса мгновенно превратится в энергию (*аннигиляция*). Неизвестно почему, но, к великому счастью, *частиц в нашей Вселенной оказалось чуть больше, чем античастиц*. Поэтому после аннигиляции это чуть-чуть осталось и стало всей сущей в нашем мире материей.

В-четвертых, наряду с обычными частицами, сформировались частицы *темной материи*. Они присутствуют сейчас повсюду, но мы не можем их обнаружить, поскольку из всех сил они подвержены только гравитационному взаимодействию. Например, свет, являясь, как известно, электромагнитным излучением, не может отразиться от них. Темная материя впоследствии *создала каркасы галактик* и фактически сформировала нашу Вселенную, задала ее структуру.

*Возникший за первую секунду мир оказался невероятно гармоничным и как будто специально устроенным для дальнейшего плодотворного развития*. Инфляция сделала Вселенную однородной. *Мировые константы*, определяющие все четыре взаимодействия, массы и заряды элементарных частиц, известные числа  $e$ ,  $\pi$  и другие *приобрели точно такие значения, которые необходимы для дальнейшего формирования устойчивых химических элементов, молекул и самой жизни*. Если представить, что одна или несколько из примерно 30 мировых констант оказались бы на долю процента

не такими, какие они есть, нас с вами и, вероятнее всего, ничего другого в нашем мире не возникло бы. При этом *вероятность такого сочетания мировых констант совершенно ничтожна*<sup>1</sup>.

Не менее удивительно то, что все сложнейшие взаимодействия и саморазвитие Вселенной *подчиняются красивым и элегантным математическим законам*, одинаково справедливым для самых удаленных от нас во времени и пространстве мест. Математические константы  $e$ , отражающая однородность пространства и времени, и  $\pi$  – его изотропность, золотое сечение и числа Фибоначчи, ответственные за фракталы<sup>2</sup>, придают нашему миру невероятную красоту и абсолютное совершенство.

Если первая секунда бытия нашего мира была буквально напичкана таинственными и чудесными явлениями и совпадениями, то дальнейшее развитие шло уже гораздо более плавно, по уже сформировавшимся физическим законам.

---

<sup>1</sup> Поскольку за подобными рассуждениями с очевидностью просматривается что-то напоминающее акт творения, многие физики, придерживающиеся атеистических взглядов, предпочитают альтернативную теорию множественности вселенных. По этой теории, вселенные образуются постоянно. Большинство из них лопаются и исчезает, как мыльный пузырь. Другие, немногие, остаются пустыми и безжизненными. А нам вот так исключительно повезло возникнуть в жизнеспособном варианте Вселенной.

<sup>2</sup> Фрактал – объект, в точности или приближённо совпадающий с частью себя самого. Фрактальную структуру имеет огромное число природных объектов: береговые линии, горы, снежинки, молнии, листья растений, системы кровообращения и т. д.

Необъяснимые совпадения и явления становятся всё более редкими.

*За следующие 300 тысяч лет из протонов, нейтронов и электронов образовались первые устойчивые ядра водорода и гелия. Вещество постепенно начинает преобладать над излучением в общей энергии Вселенной, которая становится прозрачной для электромагнитного излучения и, следовательно, для фотонов (реликтовое излучение).*

*Еще 500–600 млн лет наш мир провел в темноте. Водородные облака блуждали по быстро расширяющейся Вселенной, пока некоторые из них под воздействием тяготения не собрались в плотные образования, которые сжимались до тех пор, пока температура в них не повысилась примерно до 10 миллионов градусов и не началась реакция синтеза гелия из водорода. Именно эта реакция идет в водородных бомбах и звездах. Так зажглись звезды первого поколения, и Вселенная осветилась их светом.*

*Звезды первого поколения были огромны, они превосходили массу нашего Солнца во много тысяч раз. Жили они, по звездным меркам, недолго: от нескольких сотен миллионов до миллиарда лет. В них быстро выгорает водород, который превращается в гелий. Потом синтезируются всё более тяжёлые элементы: углерод, кислород, кремний и железо. Каждая такая реакция идет с выделением энергии в виде излучения, которое уравнивает гравитацию. Но образование элементов тяжелее железа само требует затрат энер-*

гии. Эти реакции уже не идут самопроизвольно, без подведения внешней энергии. Излучение постепенно уменьшается, и тяготение берет верх. Происходят стремительное сжатие звезды, выделение огромной энергии и страшной силы взрыв, по энергии сравнимый только с Большим взрывом, в результате которого возникла Вселенная. В адском пламени таких взрывов родились все элементы тяжелее железа: цинк, свинец, золото, уран. Без многих из них не было бы не только нас, но и самой жизни.

Из остатков звезд первого поколения и сгустков космической пыли рождались *звезды второго поколения*. В них уже содержались металлы, но их было относительно мало. Наиболее крупные из них вновь взрывались (*сверхновые*). Из их остатков формировались *нейтронные звезды* и *черные дыры* – сгустки сверхплотной материи и энергии, такие массивные и плотные, что даже свет не может вырваться из их крепких объятий. Темная материя и черные дыры стали важнейшими элементами формирования звездных галактик и скоплений галактик.

Из остатков звезд второго поколения образовались *звезды третьего поколения*, которые отличает гораздо более высокое содержание металлов и тяжелых элементов, необходимых для возникновения жизни.

На окраине одной из галактик, которую мы привыкли называть *Млечным Путем*, примерно 4,5 млрд лет назад сформировалось наше Солнце, а рядом – с ним Земля. При

этом Земле повезло оказаться на оптимальном для развития жизни расстоянии от Солнца. Чуть дальше было бы слишком холодно, чуть ближе – всё сгорело бы. Жидкое вращающееся железо-никелевое земное ядро создает достаточно сильное магнитное поле для надежной защиты поверхности от убийственного гамма-излучения Солнца. Через примерно 100 млн лет после формирования Земля пережила очень удачную для всего живого катастрофу. В нее по касательной врезалась другая планета размером с Марс и выбила изрядное количество материи, которая слилась с остатками врезавшейся планеты и стала потом Луной. Эксперты говорят, что *без нее жизнь на Земле не смогла бы развиться*. Луна стабилизировала земную ось с наклоном в 23 градуса, что обеспечило смену времен года, и создала поначалу огромные приливные волны, в которых и началась жизнь. Причем Луна была в это время в несколько раз ближе к Земле, а Земля вращалась вокруг своей оси в четыре раза быстрее. Потом на Землю обрушился метеоритный дождь, доставивший нам почти всю воду, причем ровно столько, сколько нужно, чтобы создать ее животворящий кругооборот, но не всё залить.

В общем, уже на начальном этапе существования нашей планеты с ней *произошла цепь очень маловероятных событий, которые в совокупности обеспечили уникальные возможности для развития жизни*. Кстати, место Солнца на окраине галактики также входит в цепь удачных событий, поскольку в ее центре жизнь не успеет сформироваться из-

за постоянных взрывов сверхновых, выжигающих своим излучением всё на сотни и тысячи световых лет вокруг.

Но все эти невероятные удачи представляются мелочами по сравнению с *чудом возникновения жизни*. *Жизнь на земле существует только в форме клетки*. Все клетки произошли из других клеток, те – из других, и так миллиарды лет. Но с чего всё началось? Ведь до клетки жизни не было. Она должна была начаться с возникновения первой клетки. А даже самая простая клетка неопишимо сложна. В ней уже должны одновременно протекать сотни, если не тысячи, химических реакций, работать десятки органелл<sup>3</sup>. Как всё это могло возникнуть впервые, пусть даже из сложных белковых молекул? Вероятность такого самопроизвольного создания, наверно, даже меньше, чем вероятность появления нашей Вселенной с нужными значениями мировых констант, которая, как мы уже знаем, совершенно ничтожна. Что ж, *отметим возникновение клетки и жизни как второе чудо мироздания* и пойдем дальше.

Чудо возникновения сверхсложной клетки вроде бы *противоречит одному из важнейших законов Вселенной – закону возрастания энтропии*. Он гласит, что энтропия, являющаяся мерой беспорядка, в изолированной системе растёт или остается постоянной. То есть беспорядок, хаос в нашей Вселенной должен расти. При возникновении и развитии жизни, то есть создании множества упорядоченных и

---

<sup>3</sup> Органелла – орган клетки, обеспечивающий определенную функцию.

очень сложно организованных структур, энтропия на Земле стремительно растет. Этот рост должен быть скомпенсирован пропорциональным убыванием энтропии, то есть ростом беспорядка и хаоса в остальной Вселенной. Быть может, *гигантские просторы Вселенной с неисчислимыми черными дырами, бесчисленными разрушительными взрывами и почти бесконечными пространствами хаотичных облаков материи понадобились для того, чтобы компенсировать убывание энтропии, вызванное земной жизнью.*

*Примерно 3,5 млрд лет назад, по современным представлениям, образовались первые, самые примитивные клетки и, следовательно, жизнь. Около 1,7 млрд лет назад появились клетки с ядром (эукариотические). Об истории жизни раньше, чем 550 млн лет назад, имеются лишь косвенные данные и эпизодические сведения. Все даты получены на основе анализа радиоактивности, и многие эксперты в них сомневаются.*

*Несомненно, эволюция жизни на Земле шла рывками. Виды образовывались очень быстро, по историческим меркам почти мгновенно. Эволюция состояла из массовых вымираний, вызванных катастрофами, и эволюционных взрывов. Катастрофы почти полностью стирали результаты предшествующего периода и запускали эволюционный процесс как бы заново. При этом, как правило, главенствующие на предыдущем этапе формы жизни уступали место лидера новым.*

Климат на Земле постоянно и часто катастрофически менялся. Так, 850–630 млн лет назад Земля превратилась в *снежный ком* и температура на экваторе была такая же, как сегодня в Антарктиде. Однако жизнь простейших организмов продолжалась, наиболее приспособленные виды выжили и при начавшемся потеплении наполнили атмосферу кислородом. Это стало толчком к так называемому *Кембрийскому эволюционному взрыву* (540 млн лет назад). В этот период планету заполнили очень причудливые, уже довольно крупные животные. Их развитие было грубо прервано новым страшным оледенением (*ордовикское вымирание*, 480–430 млн лет назад), вызванным, по всей вероятности, извержениями вулканов в Китае. При извержении выбрасывается огромное количество пепла, который надолго закрывает Солнце. При этом некоторые из них длились с перерывами в миллионы лет.

Далее последовали *девонское вымирание* (372 млн лет назад) и *великое пермское вымирание* (253–251 млн лет назад), вызванное Сибирскими траппами, на миллионы лет покрывшими всю Сибирь излияниями раскаленного базальта. Оно привело к исчезновению 70 % видов наземных позвоночных и 83 % видов насекомых. Царство насекомых заняло пришедшее ему сейчас скромное место. Главенствующим видом примерно на 50 млн лет стали земноводные. *Триасовое вымирание* (208–200 млн лет назад), вызванное вулканическими выбросами токсичных веществ, прекратило главенство

архозавров и земноводных и открыло путь царству динозавров в известном нам по фильмам Юрском периоде. Наконец, столкновение с упавшим в районе Юкатана крупным метеоритом привело к *меловому вымиранию* (65,5 млн лет назад), уничтожившему динозавров и открывшему эволюционный путь млекопитающим и человеку.

*После каждого из пяти вымираний происходил эволюционный подъем со сменой главенствующих видов*, которые занимали экологические ниши погибших властителей планеты.

*Шестое, пожалуй самое крупное вымирание животного мира связано уже с человеческой деятельностью* и, к сожалению, еще не закончилось. В докладе Living Planet Index<sup>4</sup> утверждается, что только примерно за полвека в период с 1970 по 2014 год человечество уничтожило более половины млекопитающих, птиц, рыб и рептилий на планете.

По современным взглядам, *человек разумный (Homo sapiens) появился в Восточной Африке где-то около 200 тысяч лет назад*. Существенным отличием этого вида стал большой, почти в полтора раза больший, чем у предков-обезьян, невероятно пытливый и изобретательный мозг. Некоторые ученые считают, что приведшие к появлению Homo sapiens мутации были вызваны многократно ускоряющим мутационные процессы повышенным уровнем радиации, характерным для Восточно-Африканского разлома. Конечно,

---

<sup>4</sup> URL: <https://livingplanetindex.org/home/index>

такой мозг дал существенные эволюционные преимущества, позволив усовершенствовать охотничьи приемы и освоить копье и дротик. Этого уже вполне достаточно не только для выживания, но и практического господства над животным миром. Человек с копьем в группе охотников уже становится самым сильным. Но обретенный мозг позволил человеку разработать изощренный математический аппарат, точно описывающий сложнейшие физические и химические процессы, создать мощнейшую технику, полететь в космос и проникнуть в тайны атомных ядер и элементарных частиц. Что это за странные мутации? Зачем они ему и слепой, по мысли Дарвина, эволюции? Всё это *величайшая тайна и, конечно, третье чудо в нашей с вами истории.*

Итак, для развития Вселенной и человека понадобились *три чудесных и довольно длинная последовательность чрезвычайно маловероятных событий.* Это неизбежно наводит на мысль об осмысленности этого развития и, не побоюсь этого утверждения, о нашей исключительности. Да, мы с вами, читатель, по всей вероятности, *сложнейшая и, возможно, самая важная часть этого божественно прекрасного мира.* Это внушает оптимизм и гордость.

***Одновременно с этим наш мир смертельно опасен, явно несправедлив и трагичен для каждого из нас. Мы с вами летим на раскаленном внутри до 5700 градусов шаре вокруг мощнейшего термоядерного реактора с полным спектром убийственных излучений.*** При этом мы вращаемся во-

круг земной оси со скоростью около 1000 км в час на широте Москвы, вокруг Солнца со скоростью 30 км в секунду и вместе с Солнцем вокруг центра галактики со скоростью 200 км в секунду. К тому же вся галактика движется в космическом пространстве со скоростью около 600 км в секунду. Если учесть, что мы представляем собой довольно хрупкие белковые структуры, есть от чего беспокоиться.

Всё же это скорее шутка. А вот *истинная трагичность нашего существования* – *неизбежность смерти*, то есть, если стоять на атеистических позициях, неизбежность полного исчезновения уникального внутреннего мира и личности человека. Это представляется настолько жутким и несправедливым, что с самых ранних периодов своей истории человек верил в жизнь после смерти. Даже люди каменного века не могли смириться с полным уничтожением личности и верили, что их умершие сородичи продолжают свое существование после смерти. Они торжественно провожали их в последний путь и клали в могилу всё необходимое для продолжения жизни на том свете.

Человек создал *большое количество различных религий*, и все они, в той или иной форме и степени, *обещали бессмертие*. Мировые авраамические религии (христианство, ислам и иудаизм) совершенно определенно обещают своим последователям *воскрешение и бессмертие*. Причем христианство говорит о воскрешении в момент конца света и Страшного суда в новых бессмертных телах и жизни на совершенно

иной, обновленной и совершенной земле. Более того, утверждается, что **не все мы умрем**, а люди, которые будут жить в момент или в эпоху Страшного суда, изменят свое тело и станут бессмертными.

В Библии воля Бога чаще всего реализуется через дела различных людей. Я думаю, что предрекаемое Священным Писанием *преображение тел человека в бессмертные и нетленные формы также должно произойти в результате действий самих людей.*

*Важнейшее противоречие между вечным и прекрасным миром и таким сложным и уникальным, но смертным человеком* во все времена интересовало и науку. *Эликсир бессмертия* искали мудрецы в Древнем Китае, алхимики в средневековой Европе и, быть может, под несколько иным названием ищут современные биологи и медики. При этом из разных научных и псевдонаучных уголков планеты через Интернет доносятся периодические возгласы: «Нашел!»

*Похоже, решение проблемы радикального продления здоровой жизни, а потом, возможно, и бессмертия реально достижимо.* Эксперты видят основные принципиальные препятствия скорее в этической и экономической плоскости, чем в научной и технологической сферах. Значит, нужно только сконцентрировать усилия общества и государства на решении этой задачи. При этом попутно будут достигнуты решающие успехи в лечении онкологических, сердечно-сосудистых и других наиболее распространенных заболеваний.

Ведь общеизвестно, что 80 % всех смертей в мире происходит от болезней, связанных со старением. То есть, другими словами, *именно старение является первопричиной практически всех уносящих жизни заболеваний*. Если бы государства и общество уделили борьбе со старением хотя бы десятую часть тех усилий и средств, которые они тратят на достижение гораздо менее важных политических и военных целей, жизнь человечества быстро бы изменилась к лучшему.

Таким образом, мы установили, что, во-первых, создание и развитие Вселенной, жизни на Земле и человечества проходит через череду совершенно невероятных событий, которые в совокупности и временной последовательности практически *невозможно объяснить иначе, чем единым замыслом*; во-вторых религия говорит о входящем в этот единый замысел *неизбежном и необходимом обретении людьми бессмертия* и, в-третьих, наука и технологии уже сейчас предлагают конкретные пути реализации единого замысла и движения к всё более совершенному и в перспективе бессмертному телу.

*Наша цель – реализация этого замысла!* Это, конечно, как говаривал Ленин, программа-максимум. А программа-минимум – борьба со старением.

Для успешной борьбы со старением за долгую и здоровую, в перспективе практически бессмертную жизнь *необходимо научиться управлять своими клетками, органами и системами*, из которых состоит наш организм. Для этого, как и

для управления любым другим объектом, нужно иметь умо-  
зрительный образ, или мысленную модель своего органи-  
зма. А для создания такой модели нужны знания, которые  
дает предлагаемая вашему вниманию книга. *Они необходи-  
мы каждому также и по вполне прагматичным соображе-  
ниям.* Современный человек плывет в огромном и чрезвы-  
чайно хаотичном потоке информации. Значительная часть  
часто противоречивой и ложной информации касается здо-  
ровья и лекарств. К сожалению, этот грязный поток захле-  
стывает не только обычных людей, но и медиков, большая  
часть которых теряется, читая и слушая различные, а часто  
и совершенно противоположные мнения авторитетных экс-  
пертов по основополагающим медицинским вопросам. При  
этом каждый эксперт опирается на определенные клиниче-  
ские испытания, которые тоже нередко опровергают друг  
друга. Поэтому нам со страниц газет и журналов, с экранов  
телевизоров и компьютеров беспрестанно то рекомендуют к  
потреблению якобы полезные продукты питания и чудодей-  
ственные лекарства, то говорят, что эти продукты страшно  
вредны, а лекарства бесполезны. Мнения врачей по одному  
и тому же вопросу тоже часто различны, а зачастую и про-  
тивоположны.

Из этого информационного хаоса есть *только один вы-  
ход – самому освоить фундаментальные биологические, хи-  
мические и физические закономерности и основанные на них  
механизмы и взаимодействия, определяющие работу нашего*

*организма, его основные болезни и методы излечения.* Зная эти закономерности и механизмы, человек сможет самостоятельно и на строгой научной основе оценивать различные рекомендации, сходу отбрасывать лженаучные, выделять сомнительные и отдавать предпочтение наиболее эффективным и соответствующим современным научным положениям.

***В первой части*** нашей книги читатель познакомится с устройством человеческого организма, который представляет собой взаимодействующие сообщества клеток. Вам в наглядной и доступной форме раскроются основные биофизические и биохимические закономерности, лежащие в основе этого устройства, будут описаны важнейшие молекулярные машины, обеспечивающие организм энергией и транспортирующие внутри клетки различные вещества; различные органеллы клетки, ответственные за хранение и копирование информации, производство и утилизацию белков. На основе знаний о работе клеток будут представлены их взаимодействия и системы управления этими взаимодействиями на уровне тканей, органов и систем жизнеобеспечения организма.

***Вторая часть*** посвящена изучению различных гипотез старения, многочисленных, к сожалению, сбоев в работе клеточного механизма и межклеточных взаимодействий, вызываемых старением. Последовательно будут описаны и объяснены обусловленные старением ухудшения в функциони-

ровании генома клеток, различных клеточных органелл, поломки в сигнальных путях и метаболических превращениях. Наконец, будут разобраны основные заболевания сердечно-сосудистой, пищевой, эндокринной, нервной и других важнейших систем человека, причины этих заболеваний, механизмы их развития, а также биохимия лежащих в их основе процессов. В конце второй части нами будет предложена новая гипотеза старения, которая отводит ведущую роль в процессах старения эволюционно выработанной поведенческой модели работы нашего подсознания.

***В третьей части*** систематически рассмотрены различные методы противодействия старению клеточных органелл, клеток и межклеточных связей. На основе ранее полученных знаний о системах управления клеточными взаимодействиями и механизмах сбоев в этих системах изучаются возможности эффективной коррекции заболеваний этих систем. Особая роль отводится методам коррекции заложенной в подсознании программы старения. В завершение излагаются взгляды автора на причины, по которым борьба со старением необходима людям, и основные направления этой борьбы.

Чтение книги потребует от вас определенных усилий. Я не предполагал, что уровень подготовки читателей будет выходить за рамки школьной программы, но многие уже давно закончили школу. Поэтому я постарался напомнить некоторые базовые сведения. Если что-то вам будет трудно давать-

ся, лучше при первом чтении пропустить эти страницы.

Книга построена так, что о каждом предмете (части клетки, человеческом органе или системе жизнеобеспечения) говорится трижды. Сначала, в первой части, – как он устроен (например, как устроена митохондрия). Потом, во второй части, – как он стареет (например, как стареют митохондрии). Наконец, в третьей части – как противостоять процессу старения, например старению митохондрий. В этом смысле можно вделить последовательности глав, описывающих устройство (глава 1.2), старение (глава 2.2) и методы противодействия старению (глава 3.1) клетки и ее структур, а также устройство (глава 1.3), старение (глава 2.3) и методы противодействия старению (глава 3.2) органов и систем организма. При этом в начале каждого раздела во второй и третьей частях приводятся необходимые сведения из соответствующих разделов предыдущих глав.

Тем, кто хочет без труда ознакомиться с идеологией борьбы со старением, можно предложить сначала прочесть главы 1.1, 2.1 и 3.3, а потом приступить к чтению всей книги.

Путь познания не легок, но и не так сложен, как может показаться на первый взгляд. *А дело того стоит!*

# Часть 1. Устройство человека

Прочитав первую часть книги, вы поймете, как живет и работает гигантское сообщество клеток под названием «Человек». В простой и, надеюсь, увлекательной форме вы получите довольно полную информацию об устройстве клетки, таинственном процессе развития всего организма из единственной клетки, основных механизмах работы клетки и клеточных органелл. Вы сможете представить себе работу каждого вашего органа, систем жизнеобеспечения организма, иммунной, эндокринной и нервной систем, мозга и самого сознания, составляющего сущность личности Человека.

# Глава 1.1. Из чего состоит, как развивается и работает человеческий организм

В этом разделе показано, что, подобно музыканту, который берёт аккорды на рояле, эпигенетика включает и включает различные группы генов. Это определяет форму и функции каждого типа клетки, то есть эпигенетика задает программу развития человеческого организма из одной клетки. Мы узнаем, как из клеток образуются ткани, из тканей – органы, из органов – системы жизнеобеспечения и управления клеточным сообществом.

## 1.1.1. Человек как управляемое сообщество клеток

*Человек, как и всякий живой организм, состоит из клеток, являющихся относительно самостоятельными существами. Клеточная теория играет в биологии заглавную роль. К счастью, как и всякая великая теория, она довольно проста и может быть передана в **следующих четырех положениях**:*

1) *все живые организмы состоят из одной или нескольких клеток;*

- 2) основные химические реакции, происходящие в живых организмах, локализованы внутри клеток;
- 3) *все клетки происходят из других клеток*;
- 4) в клетках в молекулах ДНК содержится *наследственная информация*, которая передается от одного поколения к следующему.



**Рис. 1.1.1. Клетки тела человека**

Все клетки человека, а их у среднего по весу человека око-

ло 60 трлн, произошли от одной клетки, образовавшейся из яйцеклетки и сперматозоида при зачатии.

Все клетки человека имеют одну и ту же ДНК с одинаковой наследственной информацией. Однако клетки печени разительно отличаются от нервных клеток (нейронов), а клетки мышц – от клеток крови (рис. 1.1.1).

Если ДНК, инструкция построения всего организма и каждой отдельной клетки, одинакова для всех клеток, откуда же такое их разнообразие? Ответ заключается в том, что форму клетки и ее функционирование определяет не набор генов, зашифрованных в ДНК, а активация или дезактивация тех или иных групп генов, (по-научному, *экспрессия* генов). То есть гены во всех клетках одни и те же, но в одних работает одна небольшая группа генов, в других – другая, и именно это определяет облик клетки и ее работу.

Если генетика изучает сами гены, то *эпигенетика* исследует закономерности экспрессии (активности) генов. Существует несколько механизмов включения и выключения, усиления и замедления работы конкретных генов. Если геном играет в клетке роль клавиш пианино, где гены – клавиши, то эпигенетические факторы – музыкант, нажимающий на эти клавиши и создающий мелодию. При этом эпигенетика может просто включить или выключить ген, а может включить его на 10, 50 или 75 %. То есть она может плавно менять интенсивность работы гена. В каждом типе клетки включены вполне определенные гены (эпигенетика берет аккорд),

а остальные сильно приглушены или выключены. Именно *определенный аккорд работающих генов создает тот или иной тип клетки по форме и функциям* (почки, печень, мускулы, мозг и т. д.).

Каждый тип клеток соответствует своему эпигенетическому аккорду, локализуется в определенном органе и выполняет необходимые всему организму функции. Всего в теле человека функционирует около 230 типов клеток. Например, миоциты – клетки мышц, кардиомиоциты – сердца, нейроны – нервной системы и мозга, эритроциты, лейкоциты и тромбоциты – клетки крови и т. д. Некоторые наиболее распространенные названия клеток полезно запомнить. Мы будем вводить эти названия постепенно и расшифровывать их так, чтобы легче было запомнить.

Как и внешний вид клеток, их функции и сама жизнь очень различны. Например, клетки мозга (нейроны) и клетки сердца (кардиомиоциты) живут с человеком всю его жизнь и почти не обновляются<sup>5</sup>. Клетки печени обновляются примерно каждые 150 дней, то есть печень «рождается» заново один раз в пять месяцев. Она способна восстановиться полностью, даже если в результате операции человек потерял до двух третей органа. А вот клетки кожи, желудка, внешние клетки легких, языка и т. д., находящиеся в местах соприкосновения с внешней средой, живут всего несколько дней.

---

<sup>5</sup> В некоторых отделах мозга, например в гиппокампе, ответственном за обучение и память, каждый день появляются тысячи нейронов.

## РИТМ ОБНОВЛЕНИЯ

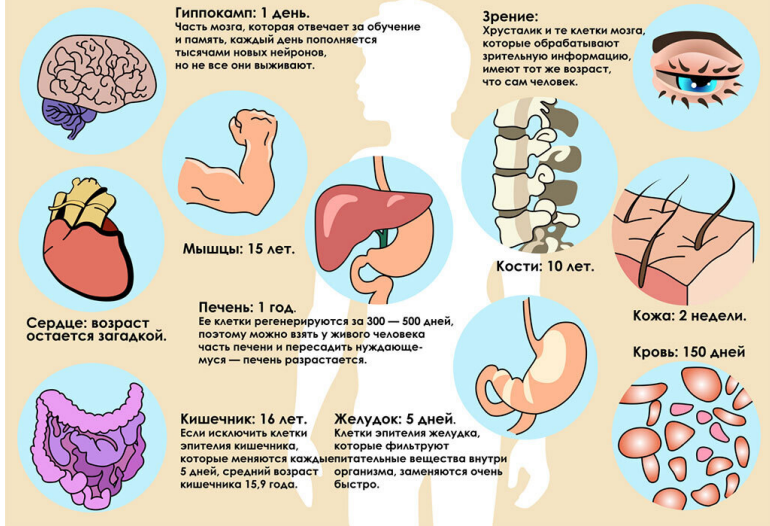


Рис. 1.1.2. Времена обновления органов человека<sup>6</sup>

Клетки, как люди или муравьи, общественные живые организмы. Каждая из них, а их в одном человеке примерно в десять миллионов раз больше, чем всё человечество, живет своей жизнью, возможно со своими стремлениями. Однако по сравнению с человеком и даже муравьем клетка гораздо более специализирована и подчинена общим интересам сообщества клеток и организма. Клетки, подобно муравьям и

другим общественным насекомым (пчелам, термитам), обмениваются друг с другом сообщениями. Только муравьи используют для этого феромоны<sup>7</sup>, а клетки – другие сигнальные молекулы.

*Клетки очень альтруистичны*, они гораздо больше, чем люди, действуют на благо всего сообщества клеток, а не для получения индивидуальных выгод. Клетки готовы отдать жизнь в интересах сообщества клеток, которым, по существу, и является наш организм. Такое поведение характерно для многих общественных насекомых, некоторых животных и даже людей. Только люди в этом случае считаются героями, а для клеток это нормальное поведение. Клетка по сигналу извне или по внутренней команде кончает жизнь самоубийством, которое называется красивым по звучанию и смыслу словом *апоптоз* (в переводе с древнегреческого «опадание листьев»). Такой сигнал подается, если клетка сильно повреждена, например произошли опасные для организма мутации, то есть повреждения ДНК, или в клетку пробрался и установил над ней контроль чужеродный организм.

На поверхности каждой клетки имеется множество *рецепторов*, чаще всего белковых молекул, которые, связываясь с внешней *сигнальной молекулой*, реагируют на пришедший в клетку сигнал. Рецепторы заменяют для клетки орга-

---

<sup>7</sup> Феромоны – продукты внешней секреции, выделяемые некоторыми видами животных и обеспечивающие химическую коммуникацию между особями одного вида.

ны чувств: глаза, уши и т. д. Среди внешних рецепторов есть рецептор смерти. Когда с ним связывается специальная сигнальная молекула, этот рецептор передает команду на производство *белков смерти*, запускающих целый каскад реакций, осуществляющих плановую разборку клетки на запасные части, которые быстро (за 2–3 часа) поглощаются и в дальнейшем используются другими клетками. Это естественное окончание жизни поврежденной или старой клетки.

Как мы уже говорили, жизнь многих типов клеток коротка. Часть клеток не хочет подчиняться этому правилу и *встает против него*. После ряда мутаций уже испорченная ими и не пригодная для функционирования клетка получает сигнал на самоуничтожение, но игнорирует его и продолжает жить и делиться, воспроизводя себе подобных. Более того, восставшие клетки для самообеспечения стимулируют образование собственной кровеносной системы, организуют свою систему обороны и становятся как бы самостоятельным растущим органом. Так появляется *раковая опухоль*. Клетки опухоли часто отрываются от нее и через кровь попадают в другие части организма, образуя там свои растущие колонии – *метастазы*. Это, конечно, мешает работе всего организма и ведет к его гибели.

Да, стремление к бессмертию некоторых, заметим, уже негодных клеток опасно для организма в целом. Возможно, так же обстоят дела и с человеческим обществом, если к бессмертию устремляются негодяи. Однако в человеке

есть «вполне порядочные» бессмертные клетки. Их называют *стволовыми*.

## 1.1.2. Как организм развивается из клетки

Как известно, все клетки (40–80 трлн клеток в зависимости от размеров самого человека) происходят, в конечном счете, от одной клетки, образовавшейся от слияния сперматозоида мужчины и яйцеклетки женщины (*зигота*<sup>8</sup>). Это слияние может происходить как в теле женщины, так теперь и в пробирке. Это всем уже хорошо известное ЭКО, или *экстракорпоральное оплодотворение*, «дети в пробирке».

В первые сутки включены (*экспрессированы*) только 7 генов. Клетка делится на две клетки (*бластомеры*). За вторые сутки после оплодотворения работают уже 32 гена и образуются четыре клетки, за третьи – 129 генов<sup>9</sup>, образуется восемь клеток (*бластомеров*). Все эти полученные в результате дробления исходной клетки восемь клеток одинаковы по размеру и *обладают одним замечательным свойством. Из каждой из них при определенных условиях может получиться любая клетка организма (плюрипотентность)*. Эти клетки, называемые *эмбриональными стволовыми клетками*,

---

<sup>8</sup> Мы будем в скобочках курсивом приводить распространенные термины и названия. Помнить их иногда может быть полезно, но необязательно.

<sup>9</sup> URL: <https://nauka.vesti.ru/article/1043149>

очень ценны. Можно, например, взять любую из них, сделать с ней различные генетические манипуляции, например вставить или вырезать ген и пересадить его в матку. Из этой клетки может вырасти генетически измененный организм<sup>10</sup>.

При дальнейших делениях образующиеся клетки уже утрачивают замечательную возможность превращаться в любой из более чем 200 типов клеток. Из все-, или *плюри*-потентных они становятся много-, или *мульти*потентными, то есть сохраняют потенцию, возможность превращаться в определенную группу типов клеток. Например, *мезенхимальные стволовые клетки* способны превращаться (*дифференцироваться*) в клетки костной ткани, хрящевые и жировые клетки, а *гемопоэтические стволовые клетки* дают начало всем клеткам крови: хорошо известным по анализам крови моноцитам, нейтрофилам, эритроцитам, тромбоцитам и др. Превращения, или дифференцировка, могут идти в несколько ступеней. Каждая дифференцировка снижает возможности превращения, или потенцию, клетки. Клетка остается стволовой, если она сохраняет способность к дифференцировке и производству специализированной, или *функциональной*, клетки (в дальнейшем мы будем называть функциональными клетки, не являющиеся стволовыми и выполняющими в организме определенные функции). Часто

---

<sup>10</sup> За проведение генетических модификаций с плюрипотентными стволовыми клетками мышей и получение после этого животных с заданными генетическими свойствами была вручена Нобелевская премия 2007 года.

стволовая клетка может порождать только один тип специализированной клетки. Например, клетка иммунной системы моноцит порождает только макрофаг.

*Стволовые клетки играют роль клеточного резерва* в организме человека. Они обитают в определенных *нишах*, представляющих собой места обитания множества стволовых клеток, которые физически поддерживают эти клетки и служат как бы интерфейсом между подсознанием и самими клетками. При необходимости мозг дает команду на активизацию клеток, находящихся в нише, и они направляются для замены старых или поврежденных специализированных клеток. Стволовые клетки могут быть также активированы по межклеточному сигналу, полученному от других клеток.

Стволовые клетки при делении могут произвести две соответствующие функциональные клетки, например клетки крови, или одну функциональную и одну такую же стволовую клетку. *С возрастом доля стволовых клеток в общем количестве клеток человека быстро убывает*. Если в младенчестве у нас одна стволовая клетка приходится на 10 тысяч специализированных, то в старости уже одна на сто миллионов. Это в 100 раз меньше, чем у взрослого человека в расцвете сил.

Возможно, *потеря или израсходование стволовых клеток – одна из причин старения организма*. Получить стволовые клетки из обычных специализированных, или, как их еще

называют, *соматических клеток*<sup>11</sup>, оказалось технологически не слишком трудно. Для этого достаточно в клетку, например, кожи или другого органа ввести четыре фактора транскрипции<sup>12</sup>, открытых японским ученым Яманаки. Преобразованные в стволовые клетки соматические клетки, в отличие от эмбриональных стволовых клеток, называют *индуцированными плюрипотентными стволовыми клетками*. Подобно эмбриональным клеткам, они могут дифференцироваться практически в любые клетки организма. За это открытие Синъя Яманаки в 2012 году удостоился Нобелевской премии.

Итак, экспрессия группы генов, эпигенетический аккорд, активирующий одни гены и выключающий другие, может не только создавать различные типы специализированных клеток, но и *превращать специализированные клетки в стволовые*, как бы обращая время вспять.

Мы выяснили, что для того, чтобы стволовая клетка стала определенной специализированной клеткой, например клеткой печени, необходимо активировать строго определенный набор генов. Для этого, по аналогии с факторами Яманаки, достаточно активировать определенные факторы транскрип-

---

<sup>11</sup> «Сома» в переводе с греческого «тело», соматические – обычные клетки тела, например кожи.

<sup>12</sup> Факторы транскрипции Oct4, Sox2, Klf4 и c-Мус (OSKM, или факторы Яманаки), активируют определенный набор генов и таким образом переводят соматические клетки в плюрипотентные стволовые клетки. Это превращение происходит путем эпигенетической регуляции клеточных процессов.

ции.

*Основные регуляторные участки генов* называются *промоторами* (легко запомнить: промотор – тот, кто продвигает проект, идею, товар) и *энхансерами* (enhancer по-английски «усилитель»). Промотор дает старт для транскрипции, то есть созданию РНК по образу и подобию гена (это мы обсудим подробно в следующей главе). Энхансер – усилитель работы гена, который может в несколько раз увеличить его транскрипцию, то есть получить не одну, а множество РНК-копий гена.

Ученым удалось проследить за активностью промоторов и энхансеров более чем в 190 типах клеток человека и идентифицировать 180 тыс. промоторов и 44 тыс. энхансеров. Установлено, что типы клеток различаются активностью регуляторов транскрипции или экспрессии генов. То есть *для каждого типа клеток характерны свой эпигенетический профиль, или аккорд (набор активных генов), и специфические для этого типа регуляторы транскрипции (промоторы и энхансеры).*

Когда при очередном делении клетки нужно произвести клетку нового типа, например той же печени, в той части делящейся стволовой клетки, которой суждено стать клеткой печени, должны быть запущены соответствующие регуляторы транскрипции (транскрипционные факторы, промоторы и энхансеры), которые активируют и усилят нужный набор генов, соответствующий эпигенетическому профилю пече-

ни. При этом для многих таких превращений уже известны необходимые регуляторы.

Остается один, но, может быть, самый главный вопрос: *как эта часть делящейся стволовой клетки узнает, что именно она должна стать клеткой печени? Значит ли это, что есть план или чертеж, по которому идет строительство организма?*

Мы все привыкли к планам, проектам, чертежам и конструкциям. На первый взгляд, без них невозможно собрать такую сложнейшую конструкцию, как человеческий организм. Но где может находиться этот план или чертеж? Ответ может быть только один: всё в той же клетке. Больше нигде! А в клетке есть только одно место, где хранится вся информация, – *ядро клетки, а точнее ДНК*. Эта огромная, состоящая из 3 млрд нуклеотидов (условных знаков, букв, в следующей главе мы опишем их подробнее) молекула содержит информацию о конструкции всех образуемых в клетке белков (в следующей главе мы подробно на этом остановимся). *Белки играют в клетке роль регуляторов и отвечают за скорости всех проходящих в клетках химических реакций*. Значит, активируя те или иные гены, генерирующие белки, можно регулировать все химические процессы в клетке и, следовательно, ее структуру и функцию. Однако за генерацию белков отвечает только примерно 1,5 % всех входящих в ДНК нуклеотидов.

Что кодируют оставшиеся 98,5 % нуклеотидов, достовер-

но пока неизвестно. Эту часть ДНК раньше ошибочно именовали «мусорной». Последние годы открывается важная, если не важнейшая, роль этой части ДНК. По всей вероятности, именно в этой части ДНК содержится программа построения всего организма. Конечно, эта программа не может иметь формы чертежа или плана. Простые математические расчеты показывают, что хранить информацию в такой форме в клетке невозможно, для этого нужно на порядки большее количество носителей информации.

Однако в математике и информатике известны другие формы представления знаний и программ развития. В системах искусственного интеллекта часто используется *язык продукционных правил*. Они имеют форму «если (условие) – то (событие)» и описывают знания в виде взаимосвязей «причина – следствие», «явление – реакция», «признак – факт» и т. п. Уже получили распространение языки программирования, хорошо приспособленные для описания системы продукционных правил.

Подобные правила часто используют в медицине. Собственно, современный подход к медицинским рекомендациям, основанный на стандартах, фактически состоит из продукционных правил. Например, если у пациента боль в горле, одновременно температура выше 37,5 и миндалины воспалены (покраснение) или трудно глотать, то диагноз – ангина и необходимы постельный режим и прием соответствующих лекарств.

По всем признакам, примерно так действует делящаяся клетка. Она как-то собирает доступную ей информацию, проверяет выполнение ряда условий, и на их основании активизируются или нет транскрипционные факторы, превращающие часть делящейся клетки в клетку, например, печени.

*На основании какой же информации клетка может «принять решение» о начале превращения?* Сразу скажем, что ни эта информация, ни сама программа развития организма науке пока неизвестны. В отрасли биологии, именуемой биологией развития, существуют только очень приблизительные гипотезы о программе развития человека из клетки. Однако в том, что, во-первых, такая программа существует и, во-вторых, она как-то закодирована в ДНК клетки, ученые не сомневаются.

*Клетка имеет очень пластичную форму, напоминающую амёбу или медузу.* Она хорошо чувствует непосредственное окружение и может двигаться для того, чтобы занять более удобное положение. На поверхности клеток имеются отросточки – некоторые подобия рук (или ног), называемые *псевдоподиями*. При помощи этих отростков, похожих на щупальца, клетка может ощупывать свое окружение и переползать с места на место. Натяжение псевдоподий, нащупавших некоторый внешний объект, передается клетке и несет определенную информацию. Таким образом, клетка по сигналам от рецепторов на поверхности клетки и псевдоподий мо-

жет получать информацию о своем положении относительно других клеток и межклеточных структур.

*Клетки ведут активную общественную жизнь*, постоянно обмениваясь сигналами (*сигнальными молекулами*). Эти сигналы клетка воспринимает через рецепторы и оценивает при «принятии решения» о превращении. Внешние рецепторы измеряют концентрации и перепады концентраций вне клетки, а внутренние – внутри клетки, причем в разных ее частях. По изменению концентраций некоторых химических веществ клетка может судить о числе делений, отделяющих эту клетку от первоначальной (*зиготы*). Кроме того, в клетке имеются встроенные счетчики числа делений (*теломеры*), о которых мы подробно будем говорить в следующей главе.

Анализируя имеющуюся у клетки информацию, мы можем представить себе структуру программы делящейся клетки в следующем виде:

ЕСЛИ прошло 23 деления И ЕСЛИ концентрация вещества А достигла 25, И ЕСЛИ концентрация вещества Б в левой части клетки меньше 100, И ЕСЛИ справа соседей нет и есть свободно пространство, ТО нужно активизировать регуляторы Р1, Р22 и Р45, которые создадут эпигенетический профиль клетки ПЕЧЕНИ.

Еще раз подчеркнем, что программа развития организма человека пока науке не известна, но мы уже можем представить себе ее вероятную структуру. Эта программа должна быть одинакова для всех клеток, но действует она в зависи-

мости от истории клетки и ее окружения по-разному.

Как мы уже отмечали, клетки занимают в организме человека главное место. Можно даже сказать, что *практически всё, что есть в организме человека, – клетки, произведенные клетками вещества и различные объединения взаимодействующих клеток.*

### 1.1.3. Как клетки формируют тело человека

Человечество существенно преобразовало Землю, приспособив ее для своей жизни. Ныне всю планету опутывают сети дорог, линий связи, электропередач, газопроводов. В узлах этих сетей расположены города, села, заводы, электростанции, другие объекты инфраструктуры и производства.

Примерно таким же образом сообщество клеток обустроивает свою жизнь в человеке. При этом инфраструктурной базой жизни клеток служит тело человека.

Человек создает производственные и инфраструктурные объекты из относительно небольшого набора материалов: кирпича, бетона, стекла и т. д. Клетки создают материалы для изготовления инфраструктуры (тела человека) из своих определенным образом сцепленных тел и специальных производимых клетками веществ.

Основным строительным материалом служат *ткани*, состоящие из клеток и производимых ими веществ. Приня-

то выделять *четыре основных вида тканей: соединительная, мышечная, нервная и эпителиальная. Органы человека* – объединения клеток, выполняющие в организме определенные функции – чаще всего состоят из доминирующей ткани и соединительной. Например, сердце состоит преимущественно из мышечной ткани, поджелудочная, щитовидная и другие железы – из эпителиальной ткани, мозг – из нервной ткани и, конечно, во всех этих органах, в большем или меньшем количестве, присутствует соединительная ткань. Нервная ткань пронизывает практически все органы, придавая телу свойства управляемой из единого центра системы.

Основной формирующей тело человека конструкцией служит *матрикс*, что в переводе с латинского и означает «основа». Матрикс заполняет клеточное ядро, клетку, формируя ее цитоплазму, и межклеточное пространство. *Внутридермный, клеточный и межклеточный матрикс* несколько отличается по составу, но в любом случае это жидкая среда, в которой находятся вещества, образующие пространственную сетевую структуру, служащую для опоры и защиты клеток и основной средой протекания большинства жизненно важных процессов. Матрикс можно сравнить с темной материей во Вселенной, которая формирует структуру галактик и галактических групп.

Совокупный объем и вес всех клеток организма человека составляет всего 20–25 % от объема или массы его тела. Однако в теле нет пустых мест. Всё остальное занимает *меж-*

*клеточный матрикс*. Клетки фиксируются на своих местах, прикрепляясь к другим клеткам и к внеклеточному матриксу. Внутри тканей на основе матрикса формируются разнообразные межклеточные контакты, необходимые для функционирования клеток и для координации деятельности клеток в составе тканевых структур.

***Внеклеточный матрикс*** – это трехмерная решетчатая структура, со всех сторон окружающая клетки органов. В состав матрикса входят белки *коллаген* и *эластин*, обеспечивающие его прочность и эластичность, *гиалуроновая кислота*, входящая в состав хрящей, слюны, кожи, и много других веществ. Вода составляет до 90 % матрикса в плазме крови и 25 % в костной ткани. *Плазму крови и лимфу* считают жидким *внеклеточным матриксом*, а кровь относят к жидкой соединительной ткани. Белки коллаген, эластин и другие вещества матрикса производятся клетками соединительной ткани *фибробластами*<sup>13</sup>.

Межклеточный матрикс поддерживает клетки, формирует ткани и органы, обеспечивает питание и передачу разнообразных информационных сигналов. В сформированном внеклеточном матриксом межклеточном пространстве *заканчиваются артериальные и берут начало венозные капилляры*. *Нервы* так же начинаются и заканчиваются во внеклеточном матриксе, приводя в действие нервные сигналы или

---

<sup>13</sup> «Фибро» в переводе с латыни «волокно», а «бласта» – «зародыш»; фибробласта – «зародыш волокна».

осуществляя сбор информации. В матриксе обитают многие иммунные клетки (макрофаги и тучные клетки), которые очищают и защищают организм. Структура внеклеточного матрикса организована таким образом, что она позволяет ему выполнять функцию биофизического фильтра. По внеклеточному матриксу могут передвигаться токсические вещества, которые затем выводятся из организма.

С возрастом межклеточный матрикс теряет свою эластичность и упругость. Старение человека в наиболее наглядной форме проявляется именно в изменении формы и свойств матрикса. Отсюда морщинистая кожа, утончение суставов и другие бросающиеся в глаза признаки старения. Об этом мы подробно поговорим во второй и третьей частях книги.

*Соединительная ткань, важнейшей частью которой является межклеточный матрикс, является самой распространенной в организме. Она присутствует во всех органах и составляет от 60 до 90 % их веса. Жир, связки, сухожилия, кости, хрящи, суставы, кровь, лимфа, внеклеточная жидкость – всё это и многое другое – виды соединительной ткани.*

В соединительной ткани наиболее распространены *фибробласты*, синтезирующие важнейшие составляющие матрикса: *коллаген* и *эластин*. Однако компоненты матрикса могут создавать и другие клетки: клетки хрящевой ткани – *хондроциты*, костной ткани – *остеобласты*. Их могут синтезировать и клетки прилегающих органов, например клет-

ки эпителия сосудов производят компоненты рыхлой соединительной ткани.

*Около 60 % веса тела* взрослого человека составляет *жидкость*. Большая часть этой жидкости сосредоточена в клетках. Это внутриклеточная жидкость. Примерно 20 % веса приходится на жидкость в межклеточном пространстве, которая является частью внеклеточного матрикса. *Внеклеточная жидкость* быстро перемещается в кровоток, затем путем диффузии выходит оттуда через стенки капилляров и смешивается с тканевой жидкостью. Она содержит ионы и питательные вещества, необходимые для поддержания жизнедеятельности клеток. Таким образом, все клетки живут в одном и том же окружении – во внеклеточной жидкости, поэтому ее называют *внутренней средой организма*.

Внеклеточная жидкость содержит большое количество *ионов натрия*, а также кислород, глюкозу, жирные кислоты и аминокислоты. Через нее из клеток выводится углекислый газ, который доставляется от клеток к легким и затем выводится из организма, и другие клеточные отходы, выведение которых осуществляют почки. Внутриклеточная жидкость отличается более *высоким содержанием ионов калия и магния*. Различие в концентрации ионов во внеклеточной и внутриклеточной жидкостях поддерживается благодаря *особому натриево-калиевому насосу*, который мы рассмотрим в следующей главе.

***Костная ткань***, входящая в состав соединительной тка-

ни, придает нашему телу жесткую и, как мы скоро покажем, невероятно красивую в своей рациональности форму. Клетки молодых растущих костей, *остеобласты*<sup>14</sup>, синтезируют уже знакомый нам коллаген и выделяют его для образования матрикса кости. Затем уже в матриксе откладываются соли кальция, образующие кристаллы и придающие костям прочность. После формирования костей во взрослом состоянии остеобласты превращаются в *остеоциты*<sup>15</sup>, которые больше не делятся. Остеоциты живут в полостях костей, а их отростки занимают костные каналы, образуя дренажную систему.

Итак, мы выяснили, что матрикс является средой протекания всех основных процессов в живом организме, а внеклеточный матрикс служит средой обитания и общения клеток. *Соединительная ткань – основная формообразующая конструкция нашего тела.*

Говоря о формообразовании, нельзя не упомянуть *мышечную ткань*. В различных органах используются разные виды мышечной ткани. *Гладкая мышечная ткань* используется при формировании внутренних органов: кишечника, мочевого пузыря, желудка. Мышцы в этих органах работают под руководством подсознания, или, другими словами, вегетативной нервной системы, то есть неосознанно.

*Поперечнополосатая мышечная ткань* составляет осно-

---

<sup>14</sup> «Остео» в переводе с латыни «кость», а «бласта – «зародыш»; остеобласта – «зародыш кости».

<sup>15</sup> «Остео» – «кость», а «цито» – «клетка»; остеоциты – «клетки кости».

ву скелетной мускулатуры человека и играет очень важную роль в формировании тела человека. Она формируется из *миобластов*<sup>16</sup>. Это небольшие одноядерные клетки, сливающиеся в процессе развития в многоядерные (до 10 тысяч ядер) клетки, которые образуют мышечные волокна длиной несколько сантиметров. Мышечные волокна имеют внутри себя сократительные элементы. Для нас важно, что для сокращения мышцы *нужны энергия и ионы кальция*.

*Сердечную мышцу* выделили в отдельный класс, так как она сочетает в себе два типа мышц (поперечнополосатую и гладкую). Составляющие ее клетки (*кардиомиоциты*) соединяются между собой с помощью вставочных дисков, и нервный импульс, сокращающий сердечную мышцу, распространяется веером. Импульс возникает и распространяется в клетках сердца произвольно, под влиянием вегетативной нервной системы.

*Эпителиальные ткани* служат для выстилания поверхностей различных органов и формирования различных желёз. Эпителиальные клетки всегда располагаются плотно друг к другу, образуя клеточные пласты. Между клетками эпителия имеются узкие межклеточные щели, по которым циркулирует тканевая жидкость. Занимая пограничное положение, клетки эпителия постоянно подвергаются воздействию внешней и внутренней сред. Поэтому они быстро «из-

---

<sup>16</sup> «Мио» в переводе с латыни «мышца», а «бласта» – «зародыш»; миобласта – «зародыш мышцы».

нашиваются» и количество погибающих эпителиальных клеток чрезвычайно велико.

Наконец, *нервная ткань* обеспечивает взаимосвязь организма с окружающей средой. Она состоит из *нейронов*, выполняющих основную функцию, и *нейроглии*, обеспечивающей специфическое микроокружение для нейронов. Нервная ткань формирует нервную систему и, вместе с другими тканями, головной и спинной мозг.

Итак, как мы показали в предыдущем разделе, клетки, делясь и руководствуясь встроенными в их ДНК правилами, превращаются в нужные как раз в это время и в этом месте ткани и органы. Таким образом, они *формируют наши органы в точно определенных друг по отношению к другу местах и с пугающей точностью и совершенством создают человеческое тело*, которое своей божественной красотой вдохновляло художников, скульпторов и поэтов.

Людям дано остро чувствовать красоту пропорций природы и человеческого тела. Оказывается, эту красоту можно выразить математически. *Вся Вселенная от галактик до ДНК сформирована по единому закону пропорциональности, названному «золотым сечением».*

Проще всего показать золотое сечение можно, поставив на отрезке точку так, чтобы меньшая часть отрезка относилась к большей части так же, как большая часть – к целому отрезку. Золотое сечение принято обозначать буквой  $\Phi$ ,

приблизительно оно равно  $1,618^{17}$ . Впервые теорию золотого сечения изложил монах Лука Пачоли в книге с весьма пафосным названием «Божественная пропорция» (1509 г.). Это тот самый Лука Пачоли, который создал современный бухгалтерский учет и ввел основополагающее правило двойного счета.

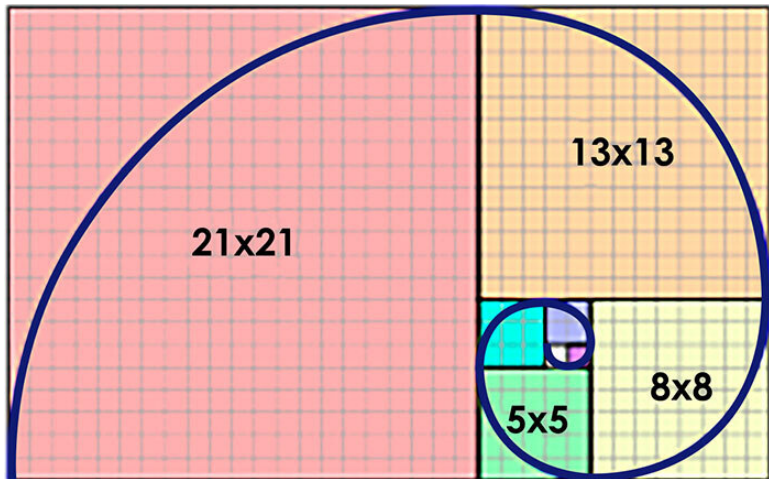
С золотым сечением тесно связана последовательность, или ряд, Фибоначчи: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55 и так далее. Каждый последующий член ряда Фибоначчи равен сумме двух предыдущих. Каждое число из ряда Фибоначчи, разделенное на предыдущее, имеет значение, стремящееся к числу  $\Phi$  – золотому сечению.

Спираль Фибоначчи является графическим отображением этого ряда.

---

$$\Phi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$$

<sup>17</sup> А точно



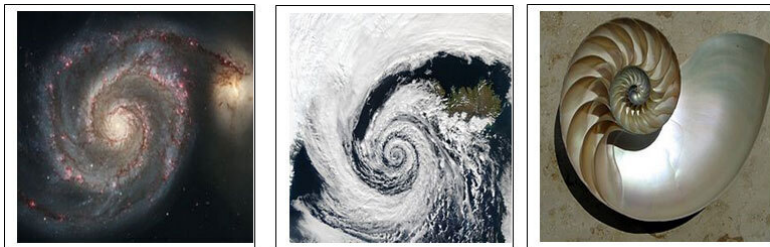
**Рис. 1.1.3. Спираль Фибоначчи**

Проявлениям золотого сечения, ряда и спирали Фибоначчи в природе несть числа. Приведем наиболее броские примеры.

- Во Вселенной все известные человечеству *галактики существуют в форме спирали*, соответствующей формуле золотого сечения. Аналогичную форму имеют области циклонов и раковины моллюсков.

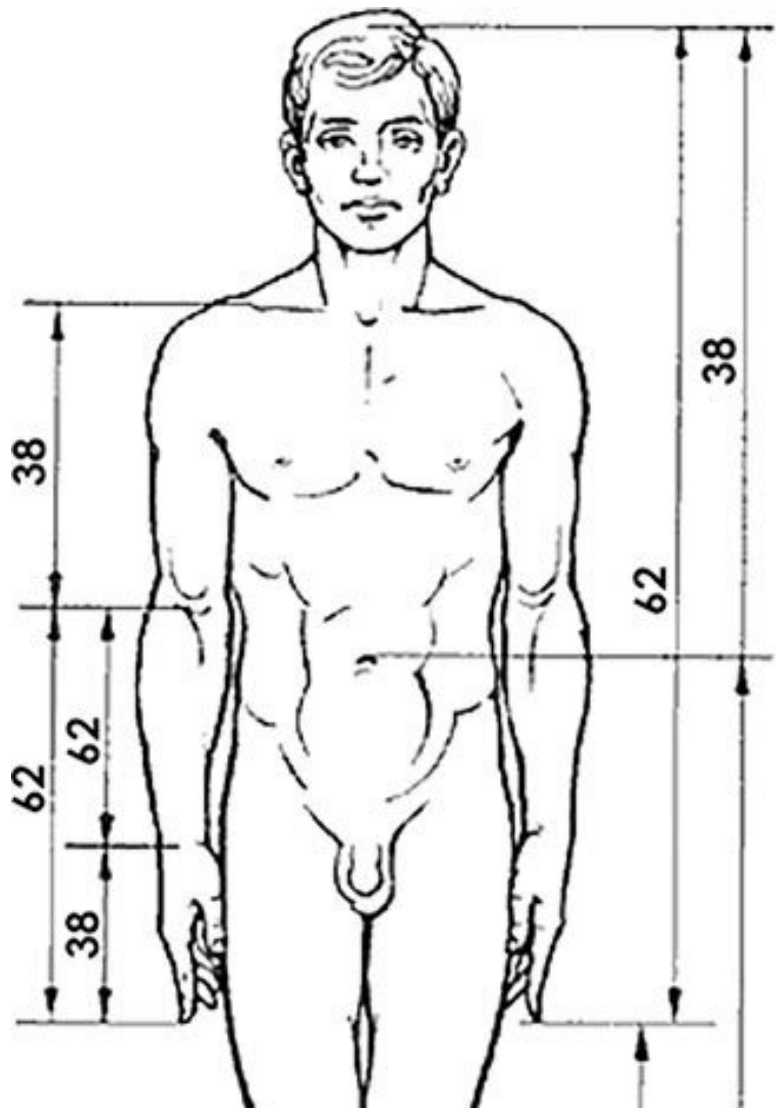
- Расположение семян в подсолнечнике и шишках сосны, строение ананасов, кактусов и лепестков роз соответствуют спиралям Фибоначчи.

- Все геометрические фигуры в снежинках построены по формуле золотого сечения.



**Рис. 1.1.4. Спиральная галактика Водоворот, циклон над Исландией и раковина моллюска (слева направо)**

- Отношение длины спирали ДНК к ширине составляет 1,618.
- Отношение роста человека к расстоянию от его ступней до точки пупа равно 1,618.
- Расстояние от уровня плеча до макушки головы, деленное на размер головы, равно 1,618.
- Расстояние от точки пупа до коленей, деленное на расстояние от коленей до ступней, равно 1,618.
- Расстояние от кончика подбородка до верхней линии бровей, деленное на расстояние от верхней линии бровей до макушки, равно 1,618.



## **Рис. 1.1.5. Золотые пропорции в теле человека**

Это означает, что в программе формирования тела человека, встроенной в ДНК каждой клетки, как-то заложены довольно точные пропорции тела и всех органов. Примечательно, но, конечно, менее удивительно, что золотая пропорция присутствует в лучших архитектурных, живописных и скульптурных произведениях. Их создатели, естественно, старались отобразить естественную красоту мироздания.

### **1.1.4. Как клетки живут в нашем теле**

В развитых странах человек сумел создать себе довольно комфортную среду обитания. Он удовлетворяет все свои потребности за счет результатов труда других людей и сам поставляет на рынок результаты своего труда. Кроме того, уже в рамках государства он выполняет свои гражданские обязанности и функции, например служит в армии. Заводы, фабрики и фермы, магазины связаны с другими предприятиями в сложные производственные и товаропроводящие цепочки. Если какая-то из этих цепочек прерывается, связанные с ней предприятия начинают испытывать значительные трудности и часто вынуждены прекращать свою работу.

Клетки в теле человека также неплохо обустроились. Они отличаются от людей гораздо большей специализацией. Если человек может сначала поработать на машиностроитель-

ном заводе, потом пойти в армию, а затем пойти работать на хлебокомбинат, то клетка навсегда выбирает свой жизненный путь в соответствии с заложенным в ее ДНК единым для всех клеток правилом. При этом она может быть спокойна: другие клетки в соответствии с тем же правилом обеспечат ее всем необходимым для жизни. Она же должна только хорошо выполнять свои функции, однозначно связанные с местом ее работы и жизни.

Потребности клеток практически совпадают с основными потребностями человека и других живых существ. *Клетка нуждается в пище, кислороде, защите от враждебных вторжений, комфортной окружающей среде (температура, кислотность и т. д.) и выведении отходов жизнедеятельности.* Всё это предоставляет ей сообщество клеток, называемое человеком, в обмен на ее работу в интересах всего сообщества и выполнение установленных правил. Всё как у людей.

Конечно, у человека, в отличие от клеток и даже, по-видимому, от высокоразвитых животных (обезьян, собак и т. д.), есть духовные, возвышенные потребности. Человеку свойственно задумываться о смысле жизни, о смерти, красоте, Боге. Однако, во-первых, это свойственно далеко не всем людям и, во-вторых, по современным научным воззрениям все их возвышенные мысли и душевные переживания не что иное, как скоординированная работа сосредоточенных в мозге клеток.

Многие люди почему-то склонны, с одной стороны, одушевлять вещи, например разговаривать с телевизором или с автомобилем как с живым существом. С другой стороны, принижать мыслительные возможности животных, говоря, что их поведение полностью определяется инстинктами. При этом мало кто может объяснить, что такое инстинкт, где он хранится и как функционирует. Вообще, *незнание часто прикрывают непонятным термином.*

Современная наука считает, что *наши мыслительный процесс и эмоции производятся сообществом наших клеток.* При этом об одной клетке, участвующей в создании нашего Я, в контексте ее собственных устремлений говорить не принято. В то же время клетка, по всей видимости, стремится к сохранению своей жизни, как любое живое существо, и, наверно, жизни всего организма, а также к размножению путем деления. Она может покончить жизнь самоубийством и даже восстать против установленного в организме порядка и самой собственной смерти, став раковой.

Осмысленно ли как-то пытаться общаться со своими клетками? Пока этого никто не знает. Однако наши мысли о клетке – это всего лишь определенная деятельность одного сообщества клеток (в мозге) по отношению к клетке, расположенной в том же организме. Клетки организма всю их жизнь находятся в постоянном, довольно тесном общении. Так что *мысль, в принципе, можно рассматривать как одну из форм межклеточного взаимодействия клеток.* Поэтому психоло-

гические практики, основанные на попытках сознательно-го влияния на жизнедеятельность собственных клеток и их сообществ, могут оказаться достаточно эффективными при противодействии болезням и старению. Мы вернемся к этим практикам в третьей части книги.

*А сейчас рассмотрим более обыденные и прозаичные потребности отдельной клетки.* Итак, клетка находится на своем обычном месте в определенном органе и выполняет свои функции в ожидании, что другие клетки удовлетворят ее потребности. И они это делают.

***Потребность клетки в кислороде*** удовлетворяют в основном клетки легких и крови. При вдохе кислород воздуха проходит носоглотку, гортань, трахею и попадает в бронхи и в легкие. Клетки легких производят интенсивный газообмен с кровью. Молекулы кислорода прикрепляются к специально для этого существующим клеткам крови (эритроцитам), а углекислый газ и другие отработанные продукты жизнедеятельности клеток переходят из крови в клетки легких и выбрасывается с выдохом. Подробнее о системе дыхания будет рассказано в главе 1.3.

***Клетке, как и любому живому существу, необходимы питательные вещества.*** Она потребляет углеводы для производства энергии, белки – для построения своих белков, размножения, регулирования внутриклеточных процессов, производства энергии и жиры – для производства и накопления энергии и строительства своей мембраны, некоторых

гормонов и органелл. При этом для потребления клеткой белки, жиры и углеводы необходимо специальным образом приготовить. Это делают клетки органов пищеварения.

*Все углеводы состоят из отдельных «единиц», которые называются сахараиды (глюкозоподобные молекулы).* Они делятся на две группы: простые и сложные. Углеводы, содержащие один сахарид, называются моносахаридами (глюкоза, фруктоза), два – дисахаридами (лактоза – молочный сахар, сахароза – тростниковый сахар), больше двух – полисахаридами (крахмал, целлюлоза)<sup>18</sup>.

Клетки потребляют глюкозу, *поэтому цель переваривания углеводов – превращение углеводов в глюкозу*. Это превращение начинается во рту под действием ферментов слюны и продолжается под действием ферментов, выделяемых клетками поджелудочной железы, в двенадцатиперстной кишке и тонком кишечнике. В конечном счете все углеводы превращаются в глюкозу, которая всасывается в кровь из тонкого кишечника.

В переваривании углеводов ведущую роль играет *поджелудочная железа*, находящаяся, как следует из ее названия, прямо под желудком. В этой железе имеется около миллиона скоплений бета-клеток, красиво названных островками Лангерганса. Эти клетки производят один из самых извест-

---

<sup>18</sup> Общая формула углеводов –  $C_n(H_2O)_m$ . То есть  $n$  молекул углерода и  $m$  молекул воды. Отсюда название «углеводы» – «угле-» (углерод) и вода.

ных *гормонов*<sup>19</sup> – *инсулин*, который регулирует углеводный обмен. Мы уже знаем, что клетки любят обмениваться сообщениями и используют для этого сигнальные молекулы. Гормоны тоже своего рода сигнальные молекулы, только эти сигналы вырабатываются в специальных железах и носят характер строгого приказа, которые клетки должны неукоснительно выполнять.

Инсулин передает команду мышечным клеткам открыть специальные проходы в мембране для прохода молекул глюкозы, необходимой для функционирования клетки. Если в крови имеется некоторый избыток глюкозы, инсулин передает команду клеткам печени переработать его в гликоген, который, по существу, представляет собой соединенные в единую молекулу тысячи молекул глюкозы. Если избыток глюкозы всё еще остается в крови, через инсулин передается команда клеткам жира переработать его в жир про запас.

Всем этим довольно сложным процессом руководит мозг. Точнее, расположенная в нем маленькая железа *гипоталамус* (это название полезно запомнить; «гипо» в переводе с греческого «под», а «таламус» – «камера»). Этот маленький орган руководит практически всеми гормонами в нашем организме.

Если глюкозы в крови не хватает для питания клеток, тот же гипоталамус дает команду на выделение, теперь уже аль-

---

<sup>19</sup> Гормоны (в пер. с греческого «побуждаю») – органические вещества, выделяемые железами и регулирующие различные процессы в организме.

фа-клетками островков Лангерганса поджелудочной железы, гормона *глюкагона* (совсем легко запомнить: «гонит глюкозу»), который обеспечивает распад определенной части *гликогена*, запасенного в печени, и выделение глюкозы в кровь.

Так клетка обеспечивает себе постоянный доступ к глюкозе – основному источнику энергии.

*Для строительства своих внутренних органов-органелл, производства ферментов и гормонов, а также, при особой необходимости, для производства энергии клетка нуждается в белках.* Как мы знаем, белки – основные элементы жизни. Некоторые читатели могут припомнить слова Энгельса: *«Жизнь есть способ существования белковых тел»*<sup>20</sup>.

*Все белки состоят из 20 аминокислот.* Они являются теми элементами, из которых строятся все белки, от соединения небольшого количества аминокислот, называемых пептидами, до огромных белковых соединений, содержащих тысячи аминокислот. Важнейшим свойством белков, на основе которого, собственно, и построена жизнь, является их способность соединяться друг с другом, образуя прочную межмолекулярную связь.

*Клетке для жизни нужны именно аминокислоты.* Нужные ей белки из аминокислот она умеет производить сама. Получить из съдаемых белков аминокислоты, то есть переварить белки, ей помогают другие клетки.

Клетки слизистой желудка производят желудочный сок,

---

<sup>20</sup> Ф. Энгельс, «Диалектика природы».

содержащий соляную кислоту и ферменты (пепсин и др.). Они расщепляют белки пищи на аминокислоты, которые всасываются в кровь и доставляются к каждой клетке организма.

*Жиры (липиды) нужны клетке для строительства и ремонта мембран, некоторых органелл, производства ряда гормонов и энергии. В жире вдвое больше энергии, чем в углеводах и белках (в грамме жира – 9,3 кал, в грамме углеводов и белков – 4 кал).*

*Жиры состоят из глицерина<sup>21</sup> и жирных кислот, которые бывают насыщенные и ненасыщенные<sup>22</sup>. Переваривание жира, то есть его расщепление на глицерин и жирные кислоты в двенадцатиперстной кишке и тонком кишечнике осуществляет фермент (липаза), который производит поджелудочная железа. Для эффективного действия липазы<sup>23</sup> жир нужно превратить в эмульсию с очень мелкими каплями. Это делает желчь: смешиваясь с жиром, она образует капельки, к которым легко присоединяется липаза. В дальнейшем жирные кислоты и глицерин используются в клетке для получения энергии. Отходами этого процесса являются углекислый газ и вода.*

---

<sup>21</sup> Глицерин – трехатомный спирт.

<sup>22</sup> В насыщенных жирных кислотах все связи углерода максимально насыщены атомами водорода, а в ненасыщенных часть связей углерода являются двойными и не насыщены водородом.

<sup>23</sup> Окончание «аза» характерно для названий ферментов, например жир – липид, а расщепляющий его фермент – липаза.

*Клетке, как и человеку, для счастливой жизни необходима комфортная среда.* Человеку нужен чистый воздух, чистая вода, доступ к товарам и услугам, которые производят другие люди и предлагают на рынке. Государство обычно берет на себя ответственность за качество окружающей среды, задает правила работы рынка и часто регулирует наиболее жизненно важные рынки. Примерно так же обстоят дела и у клеток. Только роль государства играет мозг, а точнее – всё тот же наш знакомый *гипоталамус*.

Как мы уже знаем, клетки живут в окружении межклеточной жидкости, матрикса и других клеток. Для клетки очень важно, чтобы межклеточная жидкость имела находящуюся в довольно жестких пределах *кислотность* и постоянно поддерживаемые строгие балансы ионов натрия, калия, хлора, кальция, железа, магния и других важных для жизнедеятельности веществ. Балансы в крови и связанной с ней межклеточной жидкости поддерживает гипоталамус. Он чутко следит за избытком или недостатком того или иного иона или вещества и запускает гормон, увеличивающий его в случае недостатка, или гормон-антагонист, уменьшающий его в случае избытка. Только что мы описали, как работает гипоталамус при поддержании баланса глюкозы, побуждая клетки поджелудочной железы производить больше инсулина при избытке глюкозы в крови или его антагониста глюкагона при ее недостатке.

Действие каждой пары *гормон – антагонист* происхо-

дит сразу по нескольким направлениям. Например, *гормон паращитовидной железы повышает уровень ионов кальция* за счет уменьшения скорости образования костей клетками остеоцитами и увеличения скорости их разрушения клетками остеобластами. *Гормон-антагонист кальцитонин*, синтезируемый клетками щитовидной железы, действует строго в противоположном направлении, поддерживая баланс. Эта же пара гормонов одновременно также регулирует баланс фосфатов в крови.

В некоторых случаях, например *при регулировании уровня натрия, действует только один гормон без антагониста*. В случае нежелательного снижения концентрации натрия мозг дает надпочечникам команду усилить производство гормона альдостерона, который уменьшает абсорбцию натрия клетками почек, сужает сосуды, повышает давление крови и тем самым повышает концентрацию натрия в крови. В процессе эволюции млекопитающие всегда имели избыток калия, поедая содержащую его растительную пищу, и недостаток натрия. Поэтому эволюционно выработался только один механизм, направленный на повышение концентрации натрия. Именно по этой причине сейчас, при избытке соли (NaCl) в пище у людей, так распространено повышенное давление. Фактически нам приходится восполнять отсутствие гормона-антагониста лекарствами от гипертензии.

Некоторые особенно точные балансы мозг регулирует, используя вместо *гормональных команд гораздо более быст-*

*рые нервные сигналы.* Так, чрезвычайно точный и важный баланс кислотности крови и межклеточной жидкости, которые должны иметь *водородный показатель*<sup>24</sup> на уровне 7,4 с точностью до десятых долей процента отклонений, мозг регулирует через нервную систему. В крови имеются специальные *буферные системы*, которые могут мгновенно поглотить избыток или восполнить недостаток кислотности. При этом буферная система вырабатывает избыточный углекислый газ, и мозг дает команду легким ускорить дыхание и вывести избыток углекислого газа.

*Клетка может подвергаться атакам вирусов и бактерий и потому нуждается в защите.* Безопасность клетки поддерживается иммунной системой, которая обладает невероятно разнообразным и мощным набором средств уничтожения опасных пришельцев всех видов. В иммунной системе скоординированно работают почти 20 видов клеток, образующих несколько эшелонов защиты клеток и всего организма. Мы отложим увлекательный рассказ об этой удивительной системе до главы 1.3 книги.

*А сейчас подведем некоторые итоги этой главы.* Это полезно, поскольку, хотя материал и излагается в максимально доступной форме, он всё же довольно сложен и его освоение требует определенных усилий.

---

<sup>24</sup> Водородный показатель pH показывает, является ли среда кислотной ( $\text{pH} < 7$ ) или щелочной ( $\text{pH} > 7$ ). Средний показатель pH крови здорового человека – 7,42. Это означает, что кровь является слабощелочной. Уровень pH крови и других жидкостей в нашем организме должен колебаться от 7,35 до 7,45.

**1. Человек представляет собой сообщество 40–80 триллионов и более 200 различных видов клеток, внешне и функционально совершенно не похожих друг на друга. Однако все эти клетки имеют один и тот же генетический код, заложенный в ДНК. Различия в клетках возникают из-за различных наборов работающих (экспрессирующих) и неработающих генов, называемых эпигенетическими профилями клетки.**

**2. Развитие организма проходит путем деления клеток из единственной клетки-зародыша (зиготы). В каждой клетке имеется программа развития всего организма, которая при определенных обстоятельствах на основе внешних и внутренних факторов и показателей дает команду на включение регуляторов, меняющих эпигенетический профиль клетки и превращающий ее на определенном делении в другой тип клетки. Судя по тому, что тело человека соответствует математически точным пропорциям (золотому сечению и рядам Фибоначчи), в этой программе должны быть каким-то, пока неизвестным науке способом заложены основные параметры тела.**

**3. Клетки человека объединяются в ткани, из которых состоят органы. Основной формирующей телом человека конструкцией служит матрикс, который заполняет клеточное ядро, клетку и межклеточное пространство. Межклеточный матрикс поддержива-**

**ет клетки, формирует ткани и органы, обеспечивает питание и передачу разнообразных информационных сигналов.**

**4. Клетка нуждается в пище, кислороде, защите от враждебных вторжений, комфортной окружающей среде (температура, кислотность и т. д.) и выведении отходов жизнедеятельности. Все это предоставляют ей другие клетки. Мозг, воздействуя на нервную и гормональную системы, поддерживает жесткие балансы веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности клетки. При этом баланс часто поддерживается парой гормон-антигормон. Гормон повышает концентрацию определенного вещества, и гормон-антагонист понижает концентрацию этого вещества.**

# **Глава 1.2. Как устроена клетка**

Каждая наша клетка – целый мир! В нем всё движется. Постоянно и, на первый взгляд, хаотически с огромной скоростью движутся и сталкиваются миллионы молекул. Всё бурлит. Однако в этом видимом хаосе царит порядок. Всё идет по единому плану, закодированному в бережно хранимой в хорошо защищенном ядре клетки ДНК. Клетка напоминает огромный завод, в котором отдельные органеллы клетки – станки и цеха. Клетка – мир, полный чудес, и в этом разделе мы проникнем в этот чудесный мир.

## **1.2.1. Совсем немного биофизики и немного биохимии**

Не пугайтесь! Мы, как всегда, постараемся рассказать об этих сложных предметах просто и понятно. По моему глубокому убеждению, разобраться в устройстве такой сложнейшей системы, как клетка, без знания фундаментальных основ взаимодействий, происходящих на молекулярном и субмолекулярном уровнях, не удастся.

Физика – это всегда количественное описание объектов и процессов: размеры, время, скорости и т. д. Это, конечно, сложнее, чем словесное описание, но накопленный человечеством опыт показывает, что только так можно познавать

мир.

Мы будем по возможности следовать путем, проложенным физикой и другими естественными науками. Начнем с размеров. Для молекул и клетки обычные наши размеры слишком велики. Для них лучше подходят *миллиардные доли метра – нанометры*<sup>25</sup>. Помните, еще лет пять назад слово «нано» было очень модным. Сейчас оно подзабылось, но в биофизике клетки нанометры необходимы.

Атомы имеют характерный размер – около десятой доли нанометра. (Размер самого маленького атома водорода, равный 0,1 нм, носит красивое название Ангстрем<sup>26</sup>, но это помнить необязательно.) Небольшие химические молекулы имеют размер около 1 нм. А вот органические молекулы, состоящие из множества белков, уже в 10 раз больше – *примерно 10 нм*. Сама клетка в 1000 раз больше, чем самая большая молекула. *Ее размер равен 10–50 тысяч нанометров, или 10–50 микрон*<sup>27</sup>.

---

<sup>25</sup> Нанометр (нм) –  $10^{-9}$  м. Отсюда название «нано», означающее «девять».

<sup>26</sup> Эта единица измерения используется в ядерной физике, для биофизики она маловата.

<sup>27</sup> Микрон –  $10^{-6}$  м (миллионная часть метра), или микрометр («микро» – «миллионная часть»).



Рис. 1.2.1. Изменения свойств элементов периоди-

## ческой таблицы

Атомы всех имеющихся в природе химических элементов (всего их 118, элементы с номерами от 93 до 118 получены искусственно в ядерных реакторах) состоят из протонов, нейтронов и электронов. Номера элементов равны числу протонов в ядрах (заряд ядра) или электронов, окружающих ядро.

*Современная формулировка Периодического закона:* «Свойства химических элементов находятся в периодической зависимости от заряда ядра атомов элементов (порядкового номера)».

На рис. 1.2.1 наглядно показано, что в левой части таблицы находятся металлы, отдающие электроны, и другие *доноры-восстановители*, а в правой – элементы, принимающие электроны, – *акцепторы-окислители*<sup>28</sup>.

Атомы, связываясь с другими атомами, стремятся создать наиболее устойчивые общие электронные оболочки, то есть так объединить свои электроны, чтобы *их общая потенциальная энергия была минимальной*. Это один из фундаментальных законов природы: *всё стремится к состоянию с минимальной потенциальной энергией*, и только такое состояние является устойчивым. По современным квантово-ме-

---

<sup>28</sup> Восстановители и окислители – старые термины, которые не всем легко запомнить. Есть детский стишок, помогающий запомнить, кто есть кто: Восстановитель – это тот, Кто электроны отдает. Сам отдает грабителю, Злодею окислителю!

ханическим представлениям, электроны являются квантовыми объектами, то есть представляют собой не частицы, а размытые множества-облака, в каждой точке которых электрон может пребывать с некоторой вероятностью. Это трудно, а для наших целей не очень-то уж нужно понимать. Будем представлять себе электроны просто как заряженные распределенные объекты типа облаков. Электроны в атоме располагаются на разных уровнях-оболочках. При этом химические свойства элементов зависят только от количества электронов на внешней электронной оболочке.

Несколько электронов, взаимодействуя, образуют причудливые конфигурации, каждая из которых может характеризоваться определенной потенциальной энергией. Мир устроен так, что наиболее устойчивыми являются конфигурации с максимально заполненными внешними электронными оболочками<sup>29</sup>. Такую конфигурацию имеют инертные газы, и заполненные внешние электронные оболочки придают им устойчивость и, следовательно, инертность, то есть нежелание вступать в какие-либо химические взаимодействия. *Все остальные атомы стремятся совместно с другими атомами создать такие же устойчивые, как у инертных газов, электронные оболочки.*

Образуя молекулы, атомы элементов притягивают к се-

---

<sup>29</sup> Полная заполненность внешней электронной оболочки соответствует инертному газу, например гелию с двумя электронами или неону с восемью электронами.

бе электроны с разной силой, прямо пропорциональной их *электроотрицательности*<sup>30</sup>. Металлы имеют электроотрицательность на уровне 1, такие неметаллы, как углерод, сера, бром, водород, и металлы – медь, цинк, железо – электроотрицательность, близкую к 2, такие неметаллы, как фтор и хлор, – на уровне 3 и 4.

Существует несколько типов химических связей между элементами. Все *химические связи вызваны одной единственной силой электростатического притяжения, или кулоновской силой*. Все связи объясняются перетягиванием электронов от одного атома к другому.

Если молекулу образуют элементы с высокой и низкой электроотрицательностью, например, Na и Cl, то элемент с высокой электроотрицательностью (Cl) перетягивает электрон на свою электронную орбиту и сам становится отрицательным. При этом элемент с низкой электроотрицательностью остается без своего электрона и становится положительным. Положительный и отрицательный заряды притягиваются и образуют весьма устойчивую связь, именуемую *ионной*, поскольку фактически притягиваются положительный ион Na<sup>+</sup> и отрицательный ион Cl<sup>-</sup>.

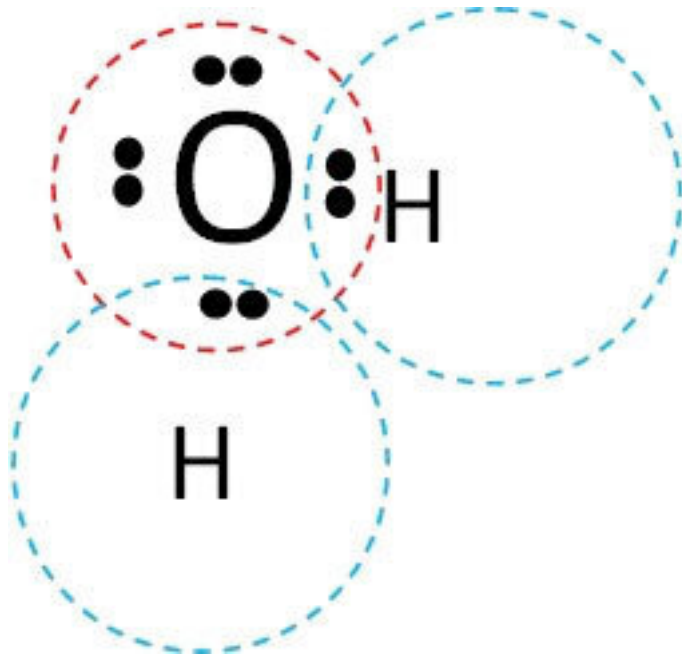
*Ковалентная связь* (основная химическая связь в органических соединениях) образуется при взаимодействии атомов, электроотрицательности которых отличаются незначи-

---

<sup>30</sup> Электроотрицательность – это способность атома притягивать электроны других атомов.

тельно. Такая связь возникает в результате обобществления валентных (находящихся на внешней оболочке) электронов, которые до образования связи принадлежали двум атомам. В процесс обобществления могут вовлекаться не только два, но и четыре, и шесть электронов. В результате образуется устойчивая электронная конфигурация инертного газа, например для воды.

Из рисунка 1.2.2 видно, что в такой конфигурации у кислорода имеется внешняя оболочка, заполненная до инертного газа неона (8 электронов), а у водорода – до инертного газа гелия (2 электрона). При этом образовавшаяся устойчивая конструкция несимметрична. Молекула воды представляет собой *диполь*: та часть молекулы, где находится водород, заряжена положительно, а часть, где находится кислород, – отрицательно.



**Рис. 1.2.2. Ковалентная связь молекулы воды**

Связываясь с атомом наиболее электроотрицательных элементов (фтор, кислород, хлор и азот), атом водорода приобретает положительный заряд. При этом в отличие от других атомов водорода, отдавший электрон, является ядром, абсолютно лишенным электронной оболочки. Размеры ядра в тысячи раз меньше размера атома. Поэтому водород может подойти очень близко к другим атомам – электронная оболочка ему уже почти не мешает. Если рядом находится дру-

гой диполь, водород притянется к его отрицательному концу. Так образуется водородная связь. Она в 4–10 раз менее прочна, чем ковалентная и ионная. Водородные связи часто встречаются в молекулах белков, нуклеиновых кислот и других биологически важных соединений, поэтому эти связи играют важную роль в биохимии.

*Ковалентная и водородная связи составляют основу биохимии.* Используя ковалентную связь, аминокислоты могут связываться в огромные по размеру и весьма сложные белки<sup>31</sup>.

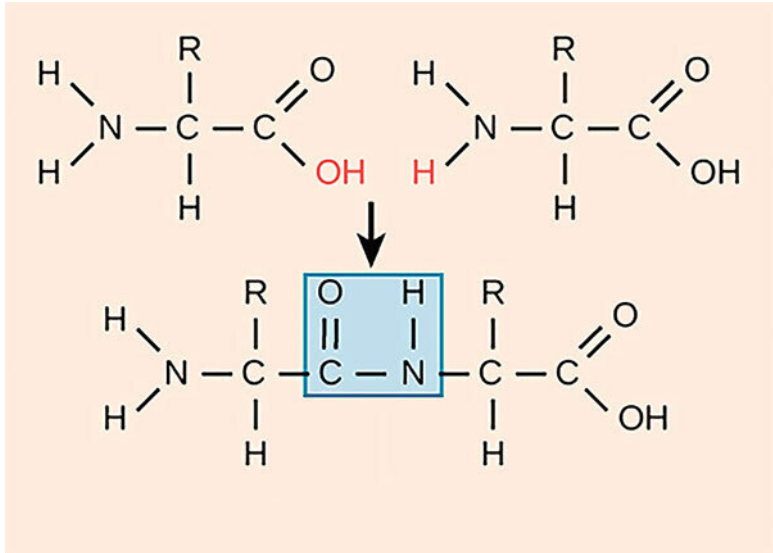
Для наиболее продвинутых и любознательных читателей поясним, что для построения сложных белков служит ковалентная связь между атомами азота и углерода.

От одной аминокислоты с конца COOH (карбоксила) отщепляется – OH, а от конца с NH<sub>2</sub> (аминогруппы) – другой – H, из них образуется вода (H-O-H, или хорошо знакомая всем H<sub>2</sub>O). Освободившиеся при этом электроны образуют ковалентную связь между C и N. Ковалентную связь между двумя аминокислотами принято называть пептидной<sup>32</sup>.

---

<sup>31</sup> Белок мышцы человека титин состоит из 38138 аминокислот. Это самый большой из известных белков.

<sup>32</sup> Для тех, кто окончательно забыл школьный курс органической химии, напомним, что на схеме черточка, соединяющая два элемента, обозначает связь, в которой участвуют два электрона.

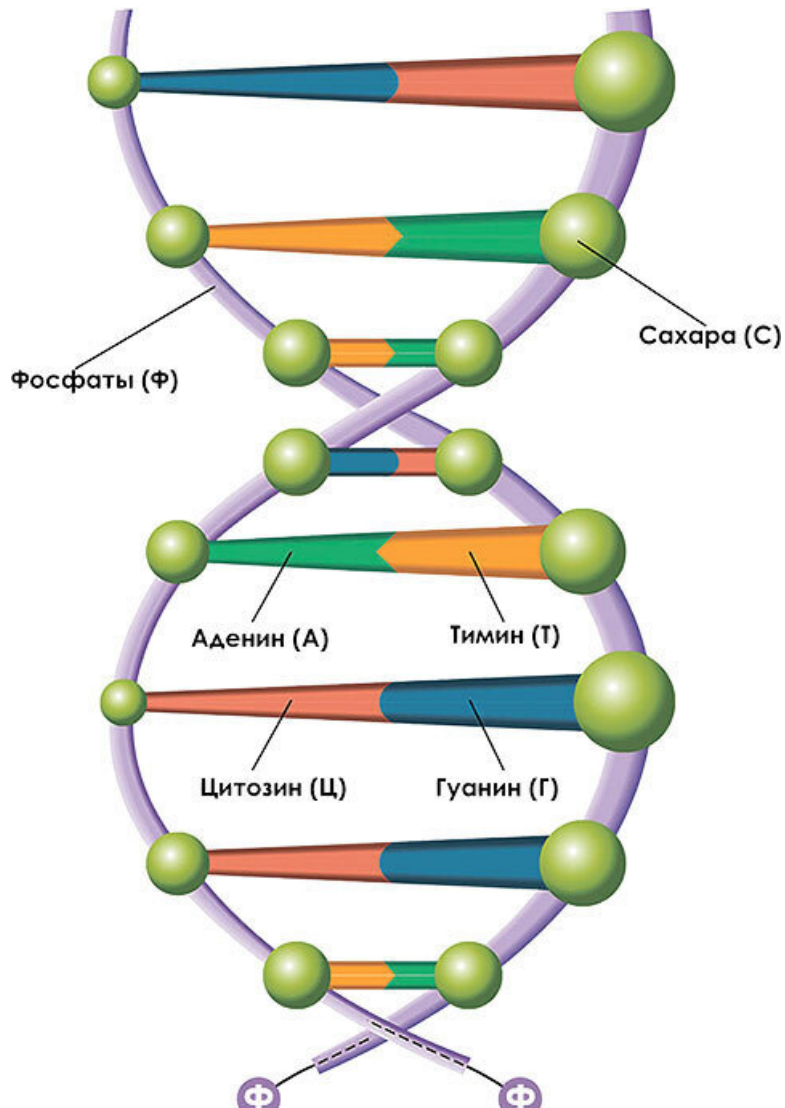


**Рис. 1.2.3. Образование пептидной (ковалентной) связи между двумя аминокислотами**

В белковых цепях атомы водорода, ковалентно связанные с атомами азота (левый конец на рисунке 1.2.3), взаимодействуют с атомами кислорода соседней цепи или другого участка этой же цепи (справа) и образуют *водородную связь*. Все сложные белки содержат сотни водородных связей, которые сворачивают их в причудливые формы (шары, спирали и т. д.).

*Водородная связь играет важнейшую роль в построении молекул ДНК и РНК, задающих и передающих генетический*

код. ДНК состоит из четырех типов элементов, которые называют *нуклеотидами*.



## Рис. 1.2.4. Двойная спираль ДНК

Каждый нуклеотид состоит из одинакового для всех связующего звена, состоящего из сахара и остатка фосфорной кислоты, и одного из четырех разных кодирующих элементов: *аденина, гуанина, тимина или цитозина*. Связующие элементы создают между собой прочные ковалентные связи (азот – углерод), вместе образующие спираль, напоминающую штопор. Кодирующие элементы связываются друг с другом водородными связями: аденин с тимином двумя водородными связями, а гуанин и цитозин – тремя. Через мостики кодирующих элементов две спирали ДНК связываются, образуя двойную спираль с перемычками, напоминающую лесенку (рис. 1.2.4).

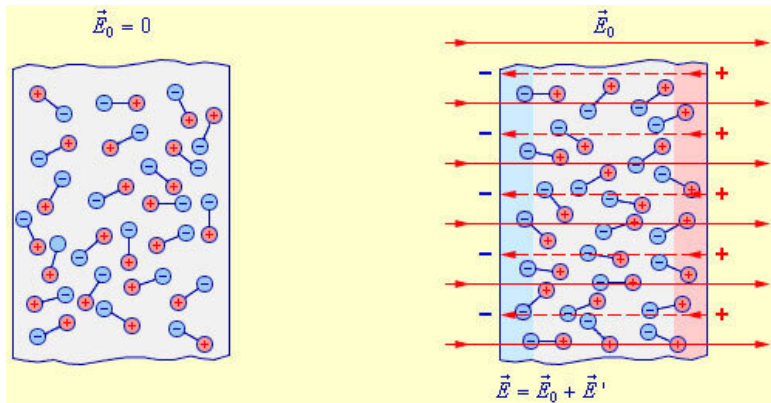
*Так устроена основная молекула жизни!*

*РНК отличается от ДНК незначительно*. Во-первых, в качестве связующего звена используется другой тип сахара – не дезоксирибоза, а просто рибоза. Во-вторых, вместо тимина РНК использует другое основание – урацил.

*Ковалентная и водородная связи* определяют многие свойства основы нашего тела – воды. Ковалентная связь создает асимметрию молекулы воды и создает ее двухполюсную структуру, кратко диполь. То есть отрицательно заряженный атом кислорода в молекуле воды несколько отстоит от положительных ядер атома водорода (как показано на рис. 1.2.2).

*Образование диполя – фундаментальное свойство воды.*

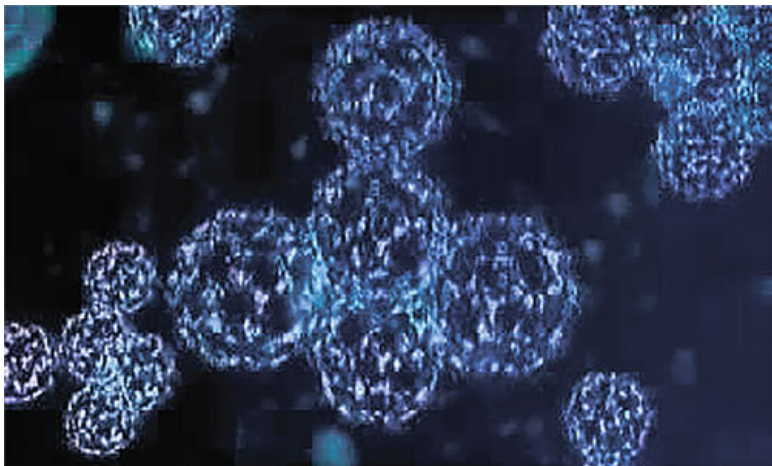
Если воду поместить в электрическое поле, то диполи начнут переориентироваться так, чтобы ослабить приложенное поле. Такая картина наблюдается во многих средах, но *только вода ослабляет внешнее электрическое поле так сильно – в 81 раз!*



**Рис. 1.2.5. Диполи воды выстраиваются во внешнем электрическом поле так, чтобы его ослабить**

На рис. 1.2.5 (слева) показаны диполи воды без внешнего поля, а справа – при наличии поля  $E_0$ . Диполи воды выстраиваются в направлении, противоположном внешнему полю. В результате оно ослабляется, причем, как показывают измерения, в 81 раз.

Точно так же ослабляются ковалентные и водородные связи в воде. Именно это делает их менее устойчивыми и создает возможности для их разрыва и образования новых связей. Это открывает возможности для различных превращений органических молекул, которые и являются сущностью нашей жизни. Во Вселенной нет больше такой замечательной среды для протекания жизненных процессов, как вода. Так что нам, в который уже раз, исключительно повезло! Воды на Земле оказалось предостаточно для развития жизни.



**Рис. 1.2.6. Кластеры водных молекул**

Асимметрия обеспечивает образование водородных свя-

зей между молекулами воды. Атом водорода, находящийся на положительном полюсе одной молекулы воды, притягивается к атому кислорода, находящимся на отрицательном полюсе другой молекулы воды. Так молекулы воды сцепляются в кластеры (рис. 1.2.6). При охлаждении из этих кластеров образуются кристаллы льда и снежинки. На реально существующем свойстве кластеризации воды основаны спорные гипотезы о «памяти воды» и обоснования действия гомеопатических лекарств<sup>33</sup>.

В клетке вода окружает все органические молекулы. *Диполи воды создают между ними энергетические барьеры, которые нужно как-то преодолеть.* То есть взаимодействию двух молекул препятствуют электростатические силы отталкивания окружающих каждую молекулу диполей воды.

Клетка представляет собой водную среду в пластичной оболочке, в которой находится множество органических молекул. Все молекулы в клетке постоянно движутся с большой скоростью, но на очень маленькие расстояния, сталкиваясь в основном с молекулами окружающей их воды. Это хаотическое тепловое, или броуновское движение (припоминаете?). Каждая молекула, находящаяся в клеточном «коктейле», пребывает в хаотическом подрагивании или трепета-

---

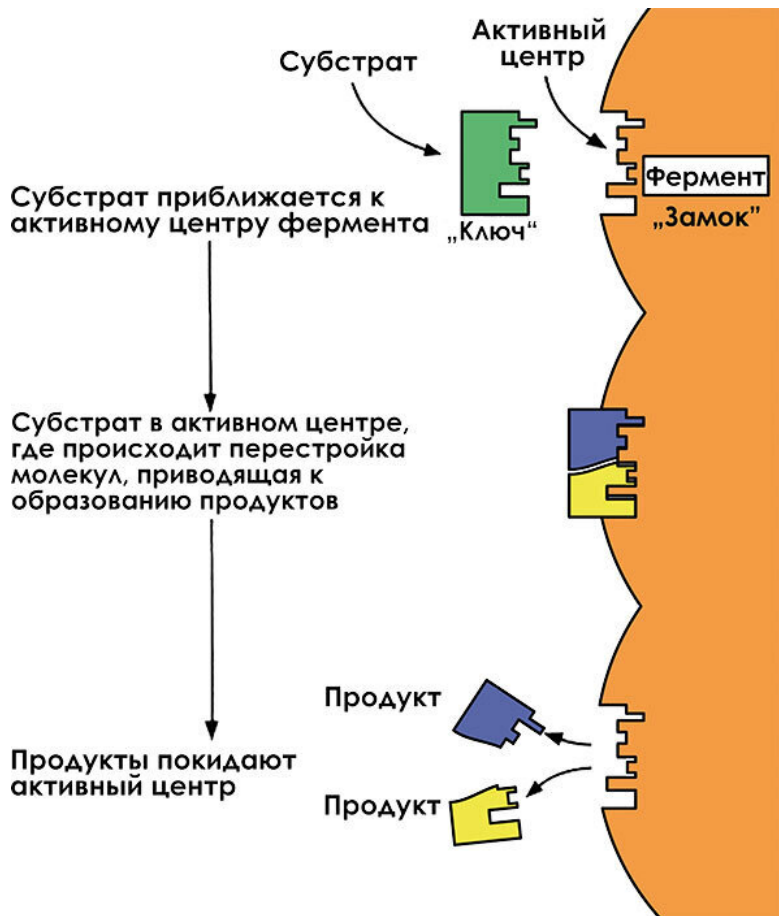
<sup>33</sup> Гомеопатия утверждает, что сила действия гомеопатического средства проявляется при очень большой степени разбавления (потенцирование), даже в том случае, когда в растворе уже не остается молекул лекарственного вещества. При этом объясняют, что целебное действие сохранено, поскольку вода была структурирована лекарством и теперь уже она сама приобрела целебные свойства.

нии. Если бы диполи воды не отталкивали бы молекулы и не препятствовали их соединению, органические молекулы слились бы между собой, и жизнь, представляющая собой постоянно идущие химические реакции, прекратилась, так и не начавшись.

*Диполи воды как бы изолируют белковые и другие органические молекулы и препятствуют спонтанным, то есть не санкционированным организмом внутриклеточным реакциям.* Для того чтобы химическая реакция началась и успешно прошла, нужно каким-то образом преодолеть силу отталкивания диполей воды и создаваемый ими барьер.

Работу фермента легче всего представить себе следующим образом. Фермент представляет собой довольно большую белковую молекулу. Одна его часть временно скрепляется с первой органической молекулой (субстрат), которая должна вступить в реакцию, а другая часть – со второй молекулой. *Фермент расчищает пространство между реагирующими молекулами от диполей воды*, что позволяет им соприкоснуться и соединиться друг с другом в новое устойчивое соединение – продукт реакции. После этого фермент отпускает новое соединение (продукт) в свободное плавание по клетке. Он вновь готов к работе.

Другие ферменты *расщепляют субстрат на отдельные продукты*, как показано на рис. 1.2.7. В этом случае фермент создает между частями субстрата щель, в которую проникают надежно разъединяющие продукты молекулы воды.



**Рис. 1.2.7. Как работает фермент**

*В клетке одновременно проходят тысячи химических реакций, и каждую из них обслуживает отдельный фермент, не похожий на другие. Без фермента невозможна биохимическая реакция. Каждая реакция может одновременно проходить в разных частях клетки. Поэтому чем больше ферментов, специфических для этой реакции, тем интенсивнее она будет проходить. Следовательно, влияя на количество ферментов, можно регулировать интенсивность реакции. Каждый белок и, значит, каждый фермент вырабатываются определенным геном. Интенсивность выработки белка, как вы уже, надеюсь, помните, соответствует экспрессии гена, которая регулируется эпигенетическими факторами. Отсюда следует, что мозг, подавая команды через специальные сигнальные молекулы-гормоны или через нервную систему, может эпигенетическими факторами *воздействовать на экспрессию генов и, таким образом, регулировать интенсивности всех реакций в клетке.**

*Это главный механизм, регулирующий все химические реакции в клетке.*

## **1.2.2. Как устроена клетка**

В конце предыдущей главы мы описали, как живет клетка в клеточном сообществе, которым, по существу, является тело человека. Она получает от других клеток всё необходимое для жизнедеятельности и сама выполняет свои собственные

ей в этом сообществе функции. *Строение каждой клетки должно обеспечивать:*

- *выполнение определенных для этого типа клетки функций в организме человека, например производство гормонов для клеток эндокринной железы или желудочного сока для клеток желудка;*

- *индивидуальность этой конкретной клетки путем построения надежной границы между тем, что находится внутри и снаружи клетки (это свойство любого живого организма; в частности роль границы тела человека играют кожа и внутренние поверхности пищеварительных и дыхательных органов, соприкасающиеся с внешней средой);*

- *размножение клетки путем деления, то есть создание своей копии (при этом, в отличие от человека, клетка создает свою полноразмерную копию, поэтому перед делением ей нужно накопить в себе все необходимые белки, жиры, углеводы и нуклеотиды в двойном размере).*

*Для выполнения этих основных задач клетка должна содержать:*

- *оболочку, надежно отделяющую ее содержимое от внешней среды, но позволяющую полезным веществам и управляющим молекулам проникать в клетку и из клетки в межклеточную жидкость;*

- *хорошо охраняемое хранилище, содержащее информацию о структуре клетки, ее функциях, структуре белков и т. д., и центр управления производством всех необходимых*

клетке веществ (белков, жиров, нуклеотидов и т. д.);

- *изолированные части клетки (цеха) для производства и сборки* необходимых клетке белков, жиров, нуклеотидов и т. д.;

- *систему энергообеспечения клетки*, поставляющую энергию для всех потребляющих её производственных процессов;

- *инфраструктуру, поддерживающую форму клетки и транспортирующую по клетке вещества;*

- *систему ремонта частей клетки и вывоза разнообразного мусора.*

Как мы видим, перечень необходимых частей клетки примерно совпадает с органами и системами человека или частями крупного города, что вполне закономерно, поскольку *сложные системы и организмы устроены похожим образом.*

*Строение клетки вполне соответствует поставленным задачам.* Да иначе и быть не могло. Основные части, их расположение и взаимодействия, в принципе, известны давно. Впервые, в 1665 году, клетку увидел в микроскопе английский естествоиспытатель Р. Гук, который, кстати, открыл известный закон Гука и не без оснований претендовал на пальму первенства в открытии закона всемирного тяготения Ньютона. Однако хорошо известно только строение мертвой клетки в неподвижном статическом положении. А вот изменения структуры, динамика клетки изучены пока очень сла-

бо. Поэтому в этом разделе мы *сначала рассмотрим структуру мертвой клетки в статике, а потом обсудим, что происходит в живой клетке.*

Как мы уже говорили, клетки имеют очень разные формы и размеры. Каждый из нас не раз держал клетку в руках, очищая и съедая куриное яйцо. Клетки человека, конечно, намного меньше. Их примерный средний размер – *20 тысяч нанометров*<sup>34</sup>. Мы все размеры будем измерять в нанометрах (нм) для удобства сравнения. Например, толщина человеческого волоса – 80 тысяч нанометров. *Клетки бактерий примерно в 10 раз меньше человеческих, вирусы – где-то 100 нм (это размер вируса гриппа), белки – около 2–5 нм, а нуклеотиды и сахара – 0,5–1 нм.* Так что по объему молекула белка меньше клетки в 60 миллиардов раз, и для белков и, тем более, для других более мелких молекул клетка – огромный город. (Человек ростом около 1,7 м примерно во столько же раз меньше крупного города радиусом 17 км, во сколько средний белок меньше клетки).

---

<sup>34</sup> Нанометр –  $10^{-9}$  м, одна миллиардная часть метра.



**Рис. 1.2.8. Структура клетки**

*Наша цель – понять, как устроена клетка и как она функционирует, для того чтобы выделить в этих процессах наиболее вероятные факторы старения нашего организма.*

Для наглядности приведем одно из известных схематических изображений структуры клетки (рис. 1.2.8).

Клетка отделена от других клеток и межклеточной жидкости *оболочкой-мембраной*, которая состоит из двух слоев во-

доотталкивающих липидов (жиров). Она способна пропускать только определённые вещества и только в определенном направлении. Через неё внутрь клетки может медленно просачиваться глюкоза, аминокислоты, жирные кислоты и ионы. Причём скорость просачивания может регулироваться.

Внешняя липидная оболочка клеток покрыта полисахаридами и белками, которые присоединены к липидам. Белки покрывают поверхность мембранной оболочки наподобие мозаики. К ним так же часто прикреплены полисахариды. Часть белков образуют в мембране ходы, через которые могут проникать внутрь клетки или выводиться вовне строго определенные молекулы. Другие белки служат органами осязания клетки – *рецепторами*. Они могут распознавать подходящие к клетке чужеродные молекулы.

В клетке можно выделить *две основные части* – *ядро и внутриклеточное пространство, или цитоплазму*, в которой плавают различные органы клетки – *органеллы*. Ядро отделено от цитоплазмы двумя ядерными мембранами, которые так же, как и клеточная мембрана, состоят главным образом из жиров-липидов. Все клеточные и внутриклеточные мембраны имеют толщину около 7 нм.

***Теперь о главном.*** Клетка должна постоянно *производить белки* для восполнения собственных расходуемых или разрушающихся в процессе эксплуатации белков, для производства белков дочерних клеток, образующихся при делении, и белков, которые будут использоваться организмом вне дан-

ной клетки. *Белок – сложнейшая трехмерная конструкция*, состоящая иногда из многих сотен аминокислот, причудливо свернутых и переплетенных. При этом для выполнения предназначенной конкретному белку функции важна не только последовательность аминокислот в белке, но и их взаимное расположение в трехмерной конфигурации. Для производства белка, как и любого изделия такой сложности, необходим проект и инструкция по его сборке.

Общеизвестно, что *инструкции по сборке белков закодированы в ДНК*, находящейся в ядре клетки. Как огромная молекула ДНК (около 2 метров длины) помещается в маленьком ядре (диаметр всего 6000 нм, в 330 тысяч раз меньше длины ДНК), мы расскажем в следующем разделе.

Сегодня уже почти каждый знает, что *код инструкции состоит из четырех букв – Т, А, С и G<sup>35</sup>*, образующих сцепленные друг с другом пары нуклеотидов Т – А, С – G. *Полный код содержит примерно 3 млрд пар таких букв (нуклеотидов)*, которые по их предназначению можно разбить на отдельные группы – гены. *Каждый ген – это участок ДНК, который является инструкцией по производству соответствующей ему молекулы РНК (рибонуклеиновая кислота)*. РНК очень похожа на ДНК, только тимин в ней заменен на близкий по строению и функциям урацил. Принято считать, что РНК возникли в процессе эволюции раньше ДНК и 3–

---

<sup>35</sup> Это первые буквы названия нуклеотидов, составляющих ДНК. Т – тимин, А – аденин, С – цитозин, G – гуанин.

4 миллиарда лет назад мир органических соединений был представлен только молекулами РНК. Говорят даже о мире РНК, который предшествовал началу жизни.

Однако РНК имеет только одну цепочку. Она может образовывать две связанные цепи как ДНК, но такая молекула не будет достаточно устойчивой. Поэтому *для передачи наследственной информации лучше подходит устойчивая и стабильная ДНК*. В то же время РНК оказалась незаменимым инструментом для передачи информации в процессе производства белков и регулирования процессов внутри клетки.

Теперь опишем ***производство белка в клетке по шагам***.

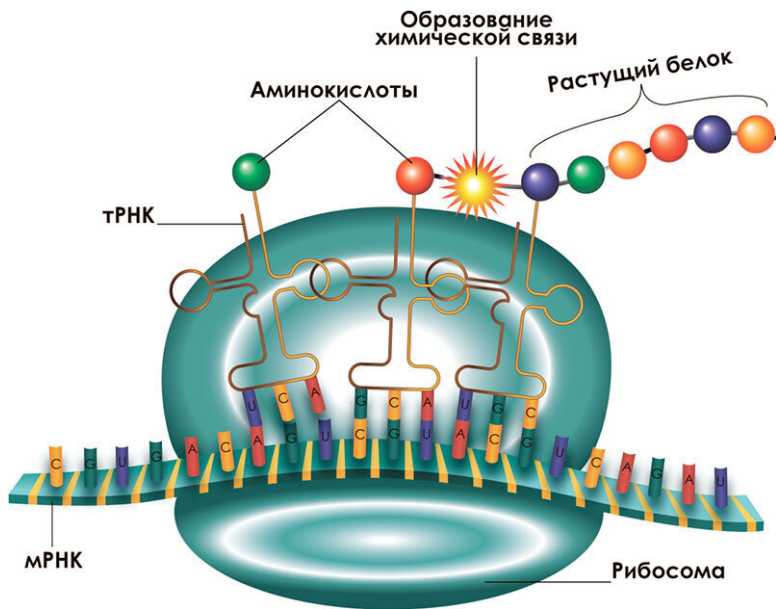
1. Упакованный в цепочке ДНК ген, кодирующий определенный белок, распаковывается служебными белками и выводится в рабочую область. В ядре к нему подходит специальный фермент (белок) РНК-полимераза. Она узнает участок гена, называемый *промотором*, и, связываясь с ним, последовательно производит молекулу РНК, используя ген ДНК как шаблон. В результате получается молекула РНК<sup>36</sup>, в которой та же последовательность букв, что и в гене ДНК, только на месте тимина стоит урацил. *Производство м-РНК на основе гена ДНК принято называть транскрипцией*<sup>37</sup>. Информация транскрибируется, то есть переписывается из

---

<sup>36</sup> Этот тип РНК называют матричными РНК, или м-РНК. В ней содержится и переносится полная информация о гене, на основе которого, как с матрицы, производится белок.

<sup>37</sup> Транскрипция – «переписывание», от лат. *trans-* «через, пере-» и *scribo* – «черчу, пишу».

кода ДНК в почти такой же код РНК.



**Рис. 1.2.9. Синтез белка в рибосоме**

2. Построенная таким образом молекула РНК покидает ядро через поры в ядерной мембране и попадает в *эндоплазматическую сеть (ЭПС)*, которая представляет собой сложную систему мельчайших пузырьков, полостей, камер и канальцев. ЭПС занимает от 30 до 50 % объема клетки.

3. На стенках ЭПС располагаются примерно 10 млн **рибосом** – молекулярных комплексов, производящих белки по

инструкции, принесенной РНК. Рибосома состоит из белков, соединенных со специальными РНК<sup>38</sup>. Она состоит из двух частей и по форме напоминает трубку, лежащую на телефоне (см. рис. 1.2.9). Матричная РНК (м-РНК), попавшая в эндоплазматическую сеть, втягивается в ближайшую рибосому между ее двумя частями («трубкой» и «телефоном»), и нуклеотид за нуклеотидом проталкиваются через нее.

*Каждая из 20 аминокислот кодируется тремя нуклеотидами – кодонами. Например, кодон GCU (гуанин – цитозин – урацил) кодирует аминокислоту аланин, а AAA (аланин – аланин – аланин) – лизин<sup>39</sup>. Получив команду в виде кодона, например AAA, специальная транспортная РНК (т-РНК) ищет в растворе цитоплазмы нужную аминокислоту, в нашем случае аланин, и транспортирует ее к рибосоме<sup>40</sup>. Рибосома обеспечивает присоединение аланина к уже синтезированной части белка. Фактически рибосома работает как молекулярная машина по сборке белков. Она транслирует код из четырех букв-нуклеотидов и белковый код из 20 аминокислот. Этот процесс называют **трансляцией**.*

4. Из рибосомы в ЭПС выходит только что собранный белок. Обычно он проходит еще довольно длительный путь до-

---

<sup>38</sup> Этот тип РНК называют рибосомными РНК.

<sup>39</sup> Разные кодоны могут кодировать одну и ту же аминокислоту. Возможных кодонов 64, а аминокислот 20. Например, аланин кодируется не только GCU, но и GCA и GCG кодонами.

<sup>40</sup> Каждая т-РНК может соединиться только с одной аминокислотой.

сборки и обработки. Каждая камера ЭПС имеет свой специфический набор ферментов, обеспечивающий строго определенные химические реакции. *Белок из рибосомы проходит через определенную последовательность камер ЭПС, подобно тому как изделие проходит заводские цеха в процессе обработки.* Для транспортировки по ЭПС и дальше по клетке белок обычно погружен в *пузырек-везикулу*, который «везет» по клеточным путям – трубочкам и нитям – специальный транспортный белок.

5. Белки образуются и обрабатываются в покрытой миллионами рибосом шероховатой ЭПС. В то же время для выполнения функций клетки и ее деления необходимы также полисахара и липиды (жиры). Они производятся из простых сахаров, жирных кислот и других элементов в гладкой ЭПС, которая по строению похожа на свою шероховатую коллегу.

6. После прохождения всех производственных процессов в ЭПС белок транспортируется в *комплекс Гольджи* (см. рис. 1.2.9). При этом белки имеют сигнальные химические метки (в виде олигосахаридов), которые «сообщают» комплексу Гольджи, что с ними делать. Комплекс Гольджи, подобно ЭПС, состоит из множества полостей, которые из-за их формы принято называть цистернами, пузырьков, канальцев и трубочек. Сюда в пузырьках-везикулах транспортируются белки из шероховатой ЭПС и липиды и полисахара из гладкой ЭПС. Здесь белки, жиры и сахара взаимодействуют, белки модифицируются и готовятся к транспортировке

в другие части клетки и в межклеточное пространство. Если в функции клетки входит производство гормонов и других важных для всего организма веществ, комплекс Гольджи в них сильно развит и занимает больше места, чем в обычных клетках. *В комплексе Гольджи белки проходят «контроль качества».* Прошедшие контроль белки получают специальные метки из полисахаридов, которые одновременно указывают маршрут дальнейшей транспортировки. Белки, не соответствующие требованиям «контроля по качеству», *отсортировываются и отправляются на утилизацию в специальные органеллы – лизосомы,* которые формируются в этом же комплексе.

7. *Лизосомы* – маленькие органеллы (диаметром от 200 до 800 нм), содержащие набор ферментов, которые синтезируются на шероховатой ЭПС и перемещаются в аппарат Гольджи. Там происходит их модификация и упаковка в мембранные пузырьки, которые после отделения от аппарата Гольджи, собственно, и становятся лизосомами. Лизосома может содержать от 20 до 60 различных видов ферментов. В лизосомах негодные белки и другие вещества расщепляются и перевариваются в формы, пригодные для дальнейшего использования. Остатки выбрасываются из клетки или консервируются для хранения.

8. Наконец, большинство производственных процессов требует затрат энергии (всё как на обычном заводе). *Источником энергии в клетке являются митохондрии,* произво-

*дющие молекулы АТФ*, доставляющие энергию во все части клетки. Об этом мы подробно поговорим в следующих разделах этой главы.

Теперь мы представляем себе все наиболее важные внутриклеточные процессы. *Общую схему взаимосвязей этих процессов необходимо запомнить.*

- **Записанная в гене в кодах ДНК информация транскрибируется в коды РНК.**

- **В рибосоме информация транслируется из кодов РНК в белковый код аминокислот – синтезируется белок.**

- **В ЭПС под действием ферментов белки обрабатываются и собираются.**

- **В комплексе Гольджи белки модифицируются и сортируются.**

- **Подходящие по качеству белки транспортируются в везикулах к месту назначения.**

- **Бракованные белки утилизируются (перевариваются и расщепляются) в лизосомах, которые формируются в комплексе Гольджи.**

Первые два выделенных положения настолько важны, что они получили почетное звание «**Центральная догма молекулярной биологии**».

На первый взгляд, идущие в клетке процессы очень похожи на производственные процессы на крупном заводе. Сначала в центре управления, которым в клетке является ядро,

формируется план и техническое задание на изготовление изделия, затем она трансформируется (в клетке – транскрибируется) в техническую документацию и передается в цеха. Здесь изделие (в клетке – белок) собирается из подвозимых с других предприятий деталей (в клетке это происходит в рибосоме), потом еще в нескольких цехах проводится дополнительная обработка изделия (в клетке – в ЭПС), его упаковка и технический контроль (в клетке – в комплексе Гольджи). Забракованная часть продукции разбирается (в клетке – в лизосомах) и по возможности вновь используется в производственных процессах, а остатки, отходы производства выбрасываются (из клетки) в специально отведенные места (в межклеточное пространство).

К сожалению или к счастью, *жизнь устроена намного сложнее простых схем.* И это проявляется не только в клетке, но и в экономических системах.

Клетка представляет собой водный раствор белков и других органических веществ, ограниченный гибкой оболочкой и разграниченный внутри еще великим множеством оболочек-мембран на разнообразные камеры, цистерны, пузырьки и т. д. Как и в любом химическом растворе, белки и другие молекулы *находятся в постоянном движении.* Они со скоростью самолета пролетают микроскопические расстояния и сталкиваются друг с другом, молекулами воды, оболочек и органелл. Трубочки и нити, по которым транспортируются белки, постоянно разбираются и вновь строятся, уже в дру-

гих направлениях. Камеры, цистерны и пузырьки то сливаются друг с другом, то вновь образуются. Всё в клетке движется и изменяется.

Если рассматривать клетку в соответствующем движению молекул масштабе времени (микросекунды), мы увидим только бурлящий раствор хаотически двигающихся и постоянно сталкивающихся объектов. Вспомните известное всем хаотичное броуновское движение. Точно так же в газе молекулы беспорядочно сталкиваются друг с другом и за этими столкновениями не угадывается никакой закономерности. Но стоит подняться на уровень выше, рассмотреть статистику, посмотреть на изменения статистических параметров, и выявятся простые и всем с детства знакомые газовые законы Гей-Люссака, Бойля-Мариотта и др.

*Аналогично обстоят дела в экономических системах*. При производстве любого сложного изделия, например автомобиля, детали и материалы приходят на завод со всего света. Если проследить за движением отдельных деталей, оно может показаться хаотическим. Поставщики могут довольно быстро меняться, и на карте поставок будут возникать и исчезать различные маршруты. На всё это накладываются кризисы, забастовки, отзывы бракованной продукции – в общем, беспорядок. Участвующие в экономической деятельности люди действуют в соответствии с собственными интересами и вроде бы совершенно свободны в своих действиях. Однако каждое утро большинство из них идет на довольно

скучную работу, потом покупает еду, другие товары, и так изо дня в день. При этом, как это ни удивительно, почти всем людям (хотя бы в развитых странах) находится работа, кто-то производит для них нужные товары – и «так весь мир вертится»<sup>41</sup>. *Экономисты считают, что порядок на хаотичном рынке наводит некая «невидимая рука»*<sup>42</sup>.

Физикам при определенных упрощениях удалось построить элегантные математические мостики от хаотичных молекулярных взаимодействий к статистически обоснованным газовым законам. В экономике также изрядно потрудились математики, и уже имеется набор математических моделей, объясняющих, хотя и при целом ряде допущений, действие «невидимой руки рынка». В молекулярной биологии клетки до этого еще очень далеко. *Пока нет не только законченных математических моделей, но и ясного понимания молекулярных клеточных процессов*. Что ж, и объект исследований у них намного сложнее.

В следующих разделах этой главы мы подробно остановимся на важнейших частях клетки и решающих моментах ее жизни. Мы будем главным образом *оставаться в рамках простых и понятных макросхем*, но также описывать нижний молекулярный уровень жизни клетки. Это необходимо для понимания процессов клеточного старения.

---

<sup>41</sup> Шекспир У. Гамлет.

<sup>42</sup> Смит А. Исследование о природе и причинах богатства народов. 1776 г.

## 1.2.3. Как размещена в ядре и работает ДНК

Каждое живое существо стремится к двум целям: *сохранить и продлить свое существование и распространить свою персональную, исходящую от него информацию*. При этом первая цель, кажущаяся важнейшей, часто уступает главенство второй.

Миллиарды лет основным способом распространения персональной информации была передача своего генетического кода потомкам. Поэтому всё живое стремится произвести максимальное количество потомков и по возможности обеспечить им максимально большой и комфортный ареал распространения.

Люди научились распространять информацию о себе другими способами и очень этим увлеклись. Цари и вожди повсеместно ставили свои статуи, открывали в свою честь памятники и храмы. Последователи Герострата сжигали храмы и пытались убить вождей и президентов. Художники, актеры и писатели мечтали прославиться своими действительными и мнимыми талантами. В XXI веке возможностей распространять информацию о себе стало многократно больше. Каждый теперь может стать писателем-блоггером, запечатлеть себя в различном окружении и выложить фото в социальных сетях и т. д. Эти новые колоссальные возможности

*составили конкуренцию традиционному генетическому способу распространения индивидуальной информации*, что не замедлило сказаться на демографии, особенно в развитых странах и крупных городах.

Таким образом, *распространение информации – важнейший процесс как эволюции живых организмов, так и человеческой цивилизации*. Признавая невероятно быстрые успехи человечества в этом вопросе, мы всё же должны почтительно склонить голову перед достижениями эволюции.

Природа или Бог, как кому нравится, организовали этот процесс с невероятной красотой и изяществом. *Главной находкой эволюции стала молекула ДНК* (рис. 2.4), которая *обладает целым рядом необходимых для распространения информации свойств*:

- во-первых, ДНК может легко и почти безошибочно создавать свою копию (репликация);
- во-вторых, ДНК гораздо более устойчива к повреждениям, чем РНК; при повреждении водородная связь между тиминном и аденином не разрывается, а переходит в другую конфигурацию (одни атомы в связи заменяются на другие), при этом цепь ДНК сохраняется и может восстановиться в прежнем виде;
- в-третьих, ДНК может быть чрезвычайно плотно упакована и относительно легко распаковывается при необходимости.

Молекула ДНК человека разделена в ядре на 46 частей,

названных *хромосомами*. Напомним, что в молекуле ДНК около 3 млрд пар нуклеотидов. Они делятся на 46 хромосом так, что в каждой хромосоме насчитывается от 50 до 245 миллионов пар нуклеотидов. В ДНК около 20 тысяч генов, которые делятся по хромосомам – примерно от 400 до 3500 генов в хромосоме.

Хромосомы образуют 23 пары. В каждой паре одна хромосома – от матери, одна – от отца. 22 пары хромосом имеют одинаковые наборы генов, а 23-я пара, половая, содержит у женщин – одинаковые хромосомы, а у мужчин – разные. В ней у мужчины имеются длинная женская X-хромосома от матери и короткая Y от отца. Парные (*гомологичные*) хромосомы имеют одинаковые наборы генов. *Это создает дополнительную устойчивость*: при дефекте гена на одной хромосоме (например, отцовской) будет работать ген, расположенный в другой (в нашем примере – материнской) хромосоме.

Хромосома состоит из участка ДНК с набором генов и белковых структур, на которые наматывается молекула ДНК. Именно эта *чудесная упаковка*, или, как ее принято называть, *конденсация ДНК*, позволяет хранить двухметровую спираль в мизерном объеме ядра, диаметр которого, как мы уже говорили, примерно в 60 тысяч раз меньше длины этой спирали.

В упаковке (конденсации) ДНК можно выделить несколько уровней. Сначала молекула ДНК обматывается вокруг

белков – гистонов<sup>43</sup>, образуя структуру, похожую на бусы. Ее называют *хроматином*<sup>44</sup>. Далее эти бусы наматываются на белковую основу наподобие катушки, образуя тонкую нить, многократно сворачивающуюся в петли. До конца процесс упаковки ДНК науке пока не известен, и вам нужно запомнить только тот факт, что *ДНК в ядре чрезвычайно плотно и замысловато упакована*.

В тех местах, где упаковка ДНК плотная, работа генов невозможна. Ведь работа (активность, экспрессия генов) обеспечивается специальными ферментами (*РНК-полимеразой*), которые должны подойти вплотную к уже упакованной и расплетенной молекуле ДНК. Эти ферменты присоединяются к определенному участку гена – *промотору*, с которого начинается транскрипция участка ДНК в матричную РНК. Промотор и, следовательно, весь ген могут быть заблокированы (*деактивированы*), если к нему, естественно под действием фермента, присоединилась *метильная группа (CH<sub>3</sub>)*. Этот *важнейший эпигенетический механизм блокирования генов именуется метилированием*. Обратный процесс, происходящий под действием другого фермента (деметилование), приводит к экспрессии (активации) ге-

---

<sup>43</sup> Гистоны – белки, состоящие из аминокислот лизина и аргинина и образующие шаровидные структуры, вокруг которых намотана молекула ДНК, крепящаяся к ним водородными связями.

<sup>44</sup> Хроматин (от др. – греч. «цвета») – нуклеопротеид, составляющий основу хромосом и состоящий из ДНК, РНК и белков (главным образом гистонов). Его нетрудно окрасить, отсюда название.

на.

Мы уже говорили о той огромной роли, которую играет эпигенетика в жизни клеток и всего нашего организма. *Фактически эпигенетика занимается включением и выключением различных генов*, их активацией и деактивацией. Так вот, **основные механизмы эпигенетики** – это, во-первых, *изменение расположения гена в хромосоме*, точнее его деконденсация (разупаковка) и перемещение в свободное пространство с тем, чтобы к нему могла подойти РНК-полимераза, и, во-вторых, освобождение промотора от мешающей началу работы РНК-полимеразы метильной группы (если она там была). Для особенно любознательных заметим, что существует еще несколько механизмов активации и дезактивации (экспрессии и репрессии) генов. Например, *ацетилирование гистонов*<sup>45</sup> ведет к ослаблению химических связей гистона и ДНК, стимулирует деконденсацию и активацию соответствующего гена.

В хромосомах всех живых существ выделяются две структуры, играющие важную роль в их жизнедеятельности. В центре хромосом расположены *центромеры*, а по ее концам – *теломеры* (в переводе с древнегреческого – «концевая часть»). Центромеры и теломеры представляют собой многократно повторяющиеся небольшие последовательности нуклеотидов.

---

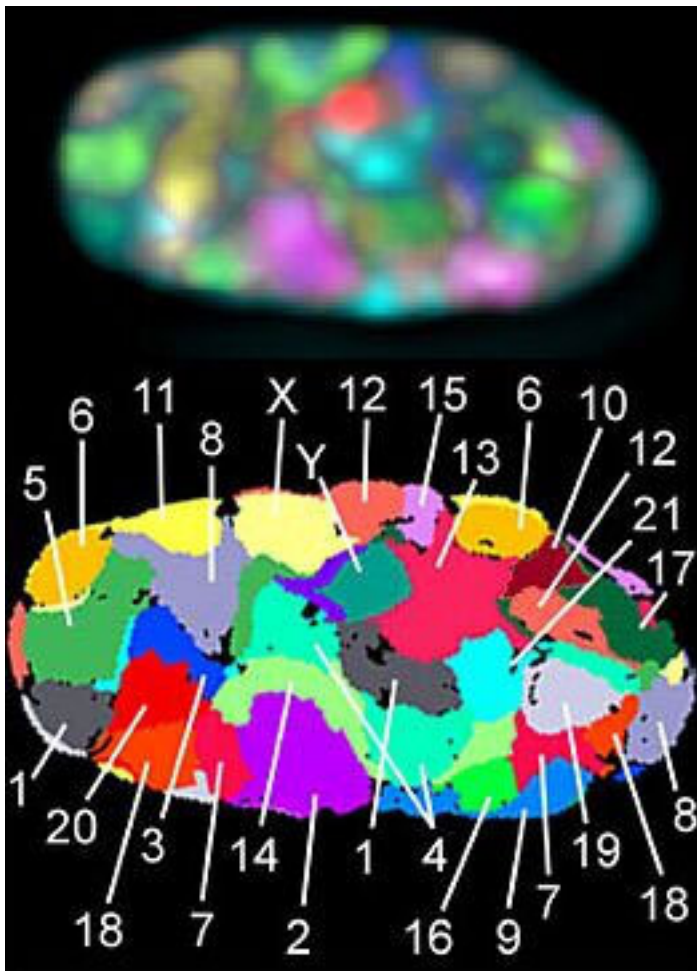
<sup>45</sup> Ацетилирование – процесс передачи ацетил-группы от одной молекулы (в данном случае ацетил-коэнзим А) к другой.

Центромеры в буквальном и фигуральном смысле занимают центральное место в делении клетки. Теломеры образуют своеобразные колпачки на концах хромосом, которые защищают их от повреждений. Связанные с теломерами белки прикрепляют концы хромосомы к ядерной оболочке и иногда к ядрышкам (о них мы расскажем чуть позже). Теломерные повторы всех позвоночных состоят из шести нуклеотидов ТTAGGG, повторы всех насекомых – ТTAGG, повторы большинства растений – ТТTAGGG.

В молодости длина теломер у человека составляет около 15 тыс. пар нуклеотидов. *При каждом делении клетки длина теломер сокращается.* Это объясняется тем, что ДНК-полимераза, копирующая ДНК при делении, первоначально занимает часть теломеры, к которой первоначально прикрепляется. Поэтому она не может скопировать эту часть. Клетки перестают делиться при длине теломеры 2 тыс. пар нуклеотидов, когда ДНК-полимеразе уже не на чем первоначально закрепиться. Однако человек обычно умирает раньше, с длиной теломер 5–7 тыс. пар нуклеотидов. Тем не менее связь длины теломер со временем жизни очевидна и *теломерная теория старения человека* остаётся одной из наиболее популярных.

В ДНК есть ещё один тип фрагментов, вызывающих у геронтологов повышенный интерес. Это *транспозоны*, или «прыгающие гены», – участки ДНК, способные менять свое положение в молекуле (транспозицию). У человека транс-

позоны составляют до 45 % всей ДНК и по типу являются *ретротранспозонами*. Отличительной чертой ретротранспозонов является транскрипция их кодов в РНК, как у обычных генов, а затем обратная транскрипция из РНК в ДНК в другом месте молекулы ДНК. Излишняя подвижность ретротранспозонов, их способность производить свои копии, которые могут портить ДНК, вынудила клетку использовать механизмы избавления от них. В частности, для этого используется особый тип коротких РНК – пивиРНК, помогающие специальному белку распознать опасность и дезактивировать транспозон.



**Рис. 1.2.10. Хромосомные территории (вид с использованием микроскопа – сверху и схема – внизу)**

«Прыгающие гены» считаются причиной около 100 различных заболеваний. Их активность усиливается с возрастом, что внушает подозрения в том, что они могут быть *важными факторами старения*. Основанную на этих подозрениях теорию старения мы рассмотрим в следующей части.

Итак, ДНК в хромосоме всегда находится в более или менее компактной форме. Однако плотность укладки или степень конденсации ДНК неодинакова в различные периоды жизни клетки. Перед делением клетки конденсация ДНК, то есть плотность упаковки, значительно увеличивается. Клетка собирается перед самым ответственным моментом в своей жизни. В этот момент ДНК в хромосомах становится таким плотным, что их можно увидеть в обычный световой микроскоп. В период между делениями (*в интерфазе*) каждая хромосома занимает в ядре вполне определенную область (*хромосомную территорию*).

На рис. 1.2.10 видно (верхнее изображение), что хромосомные территории имеют нечеткие границы. Они имеют пористую границу, через которые проникают различные белки и матричная РНК. Отцовская и материнская хромосомы часто располагаются на отдаленных друг от друга территориях. Между хромосомными территориями расположены межхромосомные пространства, в которых располагаются группы ферментов, и активно идет работа генов: производится матричная РНК. Работающие гены находятся обычно в рас-

путанном, деконденсированном состоянии и располагаются ближе к границам хромосомной территории.

В заключении этого раздела упомянем самую маленькую, но очень важную ядерную структуру – *ядрышко*. Оно не имеет мембраны и представляет собой сгусток белков (на 60 %) и нуклеотидов. В ДНК имеются гены, ответственные за образование специфической РНК для производства рибосом – рибосомных РНК или рРНК. Эти гены называют ядрышковыми организаторами<sup>46</sup>. Вблизи них располагаются ядрышки. Их число может меняться в зависимости от типа клетки, но обычно их довольно много (сотни). Основная функция ядрышек – производство рибосом, важнейших оргanelл, синтезирующих белки.

Как и всё в клетке, ядрышки – динамичные структуры. При начале деления клеток и конденсации (упаковке, уплотнении) хромосом они исчезают, поскольку работа генов прекращается. После деления они возникают, растут, могут сливаться друг с другом. Они могут перемещаться в межхромосомное пространство, структура которого, так же как и границы хромосомных территорий, весьма подвижна и динамична.

---

<sup>46</sup> У человека ядрышковые организаторы располагаются в коротких плечах 13, 14, 15, 21 и 22 хромосом.

## 1.2.4. Как поддерживаются форма и структура клетки, ее энергообеспечение и управление внутриклеточными процессами

Как мы уже говорили, клетка напоминает медузу с гибкой оболочкой, наполненной *цитоплазмой*. Оболочка клетки – чрезвычайно сложная структура, состоящая из двух слоев жиров (*липидов*), погруженных в них белков, а также расположенных с внешней стороны клетки рецепторов.

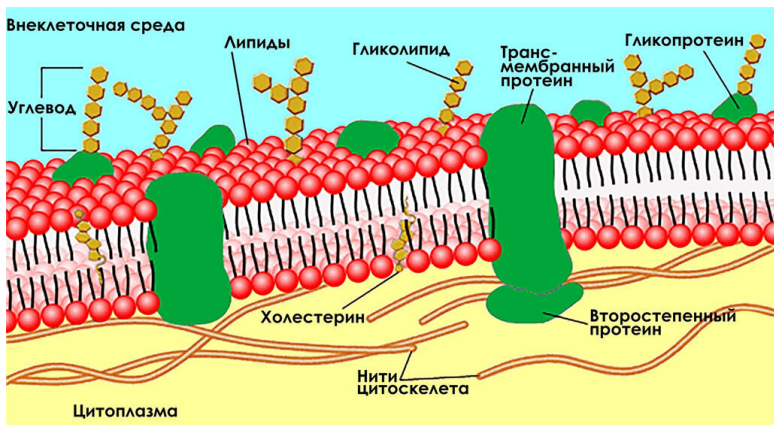


Рис. 1.2.11. Схема оболочки клетки

Как видно на рисунке 1.2.11, липиды обращены гидрофильными<sup>47</sup> (хорошо связывающимися с водой) головками к внеклеточной и внутриклеточной среде, а гидрофобными хвостиками – друг к другу. Эти два слоя называют мембраной. Толщина клеточной мембраны – 5–7 нм. *Мембрана – универсальная структура.* Такая же мембрана ограждает ядро и различные органеллы. При этом неверно представлять себе мембрану как стену из липидов. На самом деле это чрезвычайно подвижная и гибкая оболочка с множеством встроенных между липидами белков, образующих различные проходы и поры. Относительно небольшие молекулы – глюкоза, аминокислоты, жирные кислоты и ионы – могут проникать через мембрану. Проникновение идет самопроизвольно от областей с большей концентрацией к областям с меньшей концентрацией. Однако эти процессы могут контролироваться мембраной.

Другие молекулы могут проходить только при помощи трансмембранных белков, образующих контролируемые проходы в оболочке. Обычно прохождение таких молекул требует затрат энергии. Примером прохождения веществ от областей с меньшей концентрацией к областям с большей концентрацией, требующим потребления энергии, может служить *калиево-натриевый насос*, представляющий собой фермент  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -АТФ-аза. Этот фермент присоединяет

---

<sup>47</sup> Гидрофильность – от др. – греч. «гидро» – «вода» и «фил» – «любовь». Хвосты липидов гидрофобные, то есть отталкивают воду.

с внутренней стороны мембраны три иона  $\text{Na}^+$ . При помощи получаемой извне от молекулы АТФ энергии три иона  $\text{Na}^+$  переносятся на внешнюю сторону мембраны, где они отщепляются и присоединяется два иона  $\text{K}^+$ . Один заряд лишний. Так возникает разность потенциалов между внешней и внутренней частью оболочки клетки. После этого фермент возвращается в исходную позицию, а ионы  $\text{K}^+$  оказываются на внутренней стороне мембраны. В результате постоянного действия калиево-натриевого насоса концентрация калия в наших клетках в 30 раз больше, чем в плазме крови, а концентрация натрия, наоборот, в 15 раз меньше, чем вовне. На связывает воду, а К пытается вывести ее из клетки. Этот насос обеспечивает циркуляцию жидкости из межклеточного пространства в клетку и обратно. Вместе с ней циркулируют и питательные вещества внутрь клетки, а из клетки – продукты жизнедеятельности клетки. *Работа калиево-натриевого насоса потребляет примерно треть всей энергии, расходуемой клеткой.*

*Рецепторы – белки, прикрепленные к внешней части мембраны, – служат для клетки органами чувств. Часто к белкам-рецепторам прикрепляются углеводы-сахара, наподобие антенн. К рецепторам могут прикрепляться различные молекулы, передающие сигнал, например гормоны. После связывания рецептор передает сигнал внутрь клетки.*

К оболочке клетки в разных местах прикреплены сети

*трубочек и нитей, образующих цитоскелет* (напомним, что *цито* – это «клетка» на латыни). По трубочкам и нитям осуществляется транспорт белков в пузырьках (*везикулах*<sup>48</sup>). К сожалению, в молекулярной биологии множество иностранных слов, например нить называют *филаментом*. На русском всё можно объяснить проще, но иностранные термины уже прочно укоренились, и я их привожу, чтобы вы могли понимать специальную литературу.

Итак, *у клетки есть оболочка и скелет, как у человека, определяющий её форму*. По нитям и трубочкам скелета буквально ходят, передвигая ножки, специальные молекулярные носильщики, которые в пузырьках транспортируют белки и другие полезные вещества к месту их использования. Его адрес четко указан в прикрепленной к пузырьку молекулярной метке. Простая и понятная модель.

Однако развитие науки идет по извилистым дорожкам, часто сворачивающим в самых неожиданных направлениях. Восхитительно красива и проста была планетарная модель атома Резерфорда! В центре атома, как всегда, ядро. Вокруг, подобно планетам, вращаются электроны. Но, как мы уже говорили и будем еще не раз говорить, жизнь гораздо сложнее. Электроны, вообще оказались не частицами, а сложными квантовыми объектами. И они вовсе не вращаются вокруг атомного ядра. Однако простая резерфордовская мо-

---

<sup>48</sup> Строго говоря, везикулы – это маленькие органеллы, в которых запасаются или транспортируются питательные вещества.

дель атома до сих пор служит для объяснения множества явлений не только инженерам, но и профессиональным физикам.

Такая же ситуация и с клеткой. Приведенная нами *простая статическая модель не описывает многие сложные динамические процессы в клетке*. В реальности жёсткого, неподвижного скелета клетки, подобного человеческому, не существует. Как и всё в клетке, *скелет представляет собой очень подвижную и быстро меняющуюся структуру*. Образующие его трубочки и нити быстро собираются, разбираются и собираются в новом месте. Ведь весь необходимый для сборки материал в изобилии имеется в цитоплазме клетки. Ничего специально подвозить не нужно: собрал транспортную нить, использовал и разобрал. Точно так же пузырьки и камеры эндоплазматической сети образуются, соединяются друг с другом, постоянно меняя конфигурацию. Этот необычный для привычной нам относительно статичной экономической инфраструктуры, например системы дорог, динамизм объясняется различным масштабом времени процессов, идущих в клетке и в человеческом обществе. Если фотографировать мировую сеть дорог со скоростью один кадр – один год, мы так же, как в клетке, увидим постоянное изменение дорожной сети, создание новых дорог в новых направлениях, а также запустение и разрушение некоторых старых дорог.

Когда мы описываем долгосрочные и долго текущие процессы, такие как старение, удобно и вполне достаточно пред-

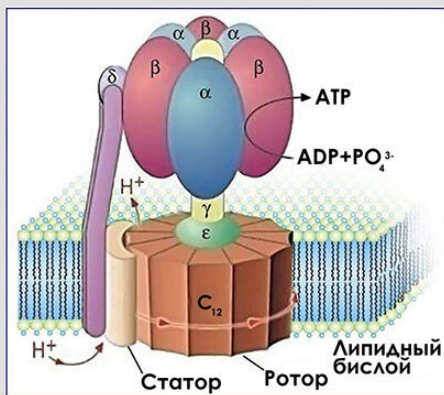
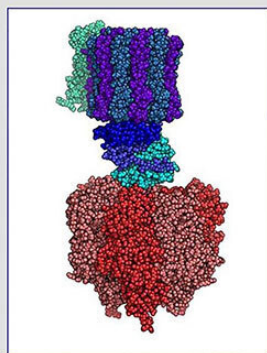
ставлять себе клетку в несколько упрощенном статическом варианте. Вообще, *подбор модели, адекватной по сложности поставленной цели исследования и процессу, – важнейший навык ученого, в решающей степени обеспечивающий успех его работы.*

Некоторые ученые считают, что сложность некоторых живых конструкций, которые называются *молекулярными машинами*, принципиально нельзя уменьшить, убирая для упрощения то или иное звено. Эти системы называют *системами неснижаемой сложности*. Если убрать какую-либо часть или деталь в системе неснижаемой сложности, вся система не сможет работать. Например, системой неснижаемой сложности является мышеловка: уберите любую деталь, и мышеловка не будет ловить мышей.

*К системам неснижаемой сложности относятся молекулярные машины, которых немало в клетке.* Одну из таких машин – натриево-калиевый насос – мы уже описали. Другую машину – молекулярного носильщика пузырьков с белками – недавно упомянули. Жгутики, при помощи которых движутся некоторые бактерии и сперматозоиды, вращаются молекулярным моторчиком. Вся машина состоит из более чем 40 деталей, причем ни одну из них нельзя убрать без полной поломки всей системы. Здесь встает вопрос: как в процессе эволюции, которая в классическом варианте идет путем небольших пошаговых улучшений системы, могли возникнуть такие сложные молекулярные маши-

ны?

## АТФ-Синтаза



**Рис. 1.2.12. Схемы работы АТФ-синтазы**

Наиболее важной молекулярной машиной в человеческой клетке является АТФ-синтаза – фермент, производящий молекулу аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), которая служит универсальным источником энергии в живых клетках. АТФ – относительно небольшая молекула, проникающая во все уголки клетки (рис. 1.2.12). Она расщепляется на аденозиндвухфосфорную кислоту (АДФ) и фосфор с вы-

свобождением энергии, которая обеспечивает все идущие в клетке химические реакции – синтез белков, перенос веществ через мембраны и др.

Время жизни молекулы АТФ в клетке составляет в среднем 30 секунд, а при физических нагрузках – около секунды. За сутки в человеческом организме распадается и вновь синтезируется количество АТФ, примерно равное 40 кг.

Синтез АТФ происходит в специальных органеллах клетки – *митохондриях*, число которых в клетке зависит от ее энергопотребления и в среднем равно 500. На многочисленных складках мембраны митохондрии располагается множество АТФ-синтаз, представляющих собой крайне миниатюрный (примерно 10 нм) станок с электромоторчиком. Как показано на рисунке, неподвижная часть электромоторчика – статор – погружена в липидный слой, который служит изолятором. Между межмембранным пространством и внутренней стороной мембраны митохондрий поддерживается разность потенциалов, которая, собственно, и дает энергию для работы микростанка.

Разность потенциалов обеспечивает постоянный ток ионов водорода  $H^+$  (или, что то же самое, протонов). Этот ток точно так же, как в обычных электромоторах, вращает группу молекул, играющую роль ротора. Через специальный молекулярный привод вращение ротора приводит в движение молекулярный станок. Он захватывает молекулу АДФ, у которой только две молекулы фосфора, и с силой, как прес-

сом, присоединяет к ней третью молекулу фосфора. Обе эти молекулы обычно находятся во внутриклеточной жидкости в митохондрии. Если какой-то части в жидкости не хватает, станок останавливается, чтобы зря не расходовать энергию. После соединения молекула АТФ выпихивается из станка в свободное плавание по клетке.

Удивительно, что человек в XIX веке изобрел точно такой же электродвигатель, который в микроварианте работал во всех живых клетках миллиарды лет. Видимо, продуктивных идей во Вселенной не так уж много!

Остается понять, *как создается разность потенциалов*, или, что то же самое, электродвижущая сила (ЭДС – припоминаете?), обеспечивающая ток протонов. Для этого, конечно, необходима энергия. В наших электростанциях турбины движутся за счет сжигания угля, газа или ядерного топлива. В митохондриях сжигается пища. Причем *в митохондриях «сгорают» (окисляются) углеводы, белки и жиры в одной и той же замечательной точке, названной циклом Кребса.*

Поскольку температура тела значительно ниже температуры горения угля, нефти и других углеводородов, природе (или Богу, как кому нравится) пришлось придумать весьма изощренный процесс окисления пищи при температуре тела. Предварительно глюкоза, аминокислоты (белки) и жирные кислоты (жиры) в ходе различных процессов превращаются в универсальное топливо *ацетил-коэнзим А, или ацетил-КоА*. Собственно, топливом является ацетил, а коэнзим

А только способствует реакциям окисления. Дальше ацетил-КоА соединяется с щавелевоуксусной кислотой, и образуется лимонная кислота<sup>49</sup>. Затем проходит серия из девяти последовательных превращений трикарбоновых кислот. В конце этой серии вновь получается щавелевоуксусная кислота. Образуется цикл. Это и есть цикл Кребса!

При этом выделяется энергия, которая выталкивает образующиеся в цикле протоны в межмембранное пространство. Образующиеся в цикле электроны остаются с внутренней стороны мембраны. Таким образом, создается разность потенциалов, или электродвижущая сила, создающая ток протонов из межмембранного пространство внутрь митохондрии. Именно *этот поток протонов движет турбину электромоторчика и микростанок по производству АТФ*.

Итак, примерно в 60 трлн клеток человека в среднем по 500 митохондрий в, очень приблизительно, миллионах АТФ-синтаз постоянно производят АТФ, которая участвует практически во всех химических процессах. Напомним, что АТФ отдает запасенную в этой молекуле энергию и распадается на АДФ и фосфор. Отсюда следует, что молекулы фосфора также повсеместно присутствуют в клетках и они активно используются, в частности для передачи сигналов. Как и любая значимая реакция в клетке, реакция присоеди-

---

<sup>49</sup> Цикл Кребса называют еще циклом лимонной кислоты или циклом трикарбоновых кислот, поскольку большинство участников цикла являются трикарбоновыми кислотами.

ния фосфора (или фосфорной группы) нуждается в специальном ферменте. Такие ферменты называются *киназы*, а процесс присоединения фосфора – *фосфорилирование*. Поскольку типов молекул, главным образом белков, к которым может присоединяться фосфор, множество, видов киназ также очень много. Геном человека содержит более 1000 генов, кодирующих киназы, а фосфорилированию подвержена примерно треть всех белков клетки человека.

Клетка, как и человек, существо общественное, и ей *необходимо получать сигналы от других клеток, в том числе руководящие указания от мозга и клеток эндокринной системы*. Сигнальные молекулы, например гормоны, подплывают к клетке по межклеточной жидкости. Как мы уже знаем, на внешней оболочке клетки расположены белковые молекулы – рецепторы. Их огромное количество. Они очень специфичны, то есть каждый тип рецептора может соединиться только со «своими» сигнальными молекулами, которые определяются рецептором по принципу «ключ-замок». Присоединение сигнальной молекулы меняет конфигурацию, то есть пространственную организацию и форму молекулы-рецептора.

Внешний сигнал в конечном счете может приводить к *двум основным реакциям*:

1) *активация (экспрессия) или дезактивация (блокирование, репрессия) генов* в содержащейся в ядре клетки ДНК; это приводит к увеличению или уменьшению количества произ-

водимых этими генами белков;

2) *активация или дезактивация (блокирование) ферментов*. Как мы помним, ферменты можно представить себе как станки, производящие различные операции при производстве сложных белков. Внешний сигнал может менять производительность этих станков и, следовательно, всей поточной линии станков, в которую включен данный фермент.

В результате этих двух реакций функционирование клетки может значительно измениться. В частности, может начаться деление или самоуничтожение клетки.

От рецептора к молекулам, активирующим или дезактивирующим гены (*транскрипционные факторы*<sup>50</sup>), и белкам-ферментам идет внутриклеточный сигнал. Он может передаваться специальными небольшими *сигнальными молекулами* и запускать сигнальный каскад химических реакций. Например, изменение рецептора вызывает фосфорилирование первой киназы, она инициирует фосфорилирование второй киназы и т. д. Этот каскад передач фосфорной группы по группе киназ, кстати чрезвычайно распространенный, подобен передаче важного письма по эстафете или прохождению документа по бюрократической цепочке. *Эти каскады называют сигнальными путями*. В клетке их великое множество. Они образуют *сигнальные сети*, из которых учены-

---

<sup>50</sup> Транскрипционные факторы – белки, способные активировать, «разбудить» (или, напротив, дезактивировать, «усыпить»), и экспрессировать те или иные гены.

ми изучена лишь небольшая часть.

В настоящее время к использованию открыто довольно много коммерческих и общедоступных коллекций молекулярных карт сигнальных путей (например, на сайте <http://navicell.curie.fr>). Воздействие любого лекарства, в том числе геропротекторов, проходит по определенным сигнальным путям. Поэтому для нас они будут представлять особый интерес.

## 1.2.5. Как рождается и умирает клетка

Как и для человека, *рождение и смерть – два важнейших события в жизни клетки*. При рождении функции клетки в клеточном сообществе и ее дальнейшая судьба определены гораздо жестче, чем для человека. После рождения подавляющее большинство клеток выполняет четко определенные функции в клеточном сообществе. Каждый вид клетки (нервные клетки, клетки печени, соединительной ткани и т. д.) имеет различные и даже очень различные интервалы жизни. Мы уже приводили их значения.

Кроме выполнения своего клеточного долга в организме, клетка, как и всё живое, стремится к размножению. Взрослея и развиваясь, клетка постепенно запасает необходимое для воспроизводства количество белков и других веществ. Через определенное время после рождения клетка получает сигнал

на начало деления (*пролиферация*<sup>51</sup>).

После этого начинается удвоение хромосом (*репликация*). То есть каждая хромосома внутри ядра производит свою точную копию. Для этого специальные белки расплетают петли, в которые ДНК обычно плотно сложена в ядре, а другие белки-ферменты (*хеликазы*) разрывают водородные связи между нитями ДНК. Остаются две «обнаженные» нити ДНК, готовые присоединить к себе подходящие нуклеотиды (как вы, надеюсь, помните, Т к А и С к G).

Как и всё в клетке, это естественное присоединение требует участия своего фермента, который называется просто *ДНК-полимераза*<sup>52</sup>. Этот фермент не только обеспечивает присоединение подходящего нуклеотида, но и может проверять, правильно ли собирается вся копия. При ошибках процесс сборки может быть остановлен.

Для начала своей работы ДНК-полимераза должна прикрепиться к цепочке ДНК. Место своего крепления на конце ДНК она скопировать не может. Поэтому копии получают немного короче. Для своего крепления ДНК-полимераза использует находящиеся на конце ДНК теломеры, поэтому с

---

<sup>51</sup> Пролиферация (от лат. *proles* – «отпрыск, потомство» и *fero* – «несу») – размножение клеток делением. Мы, как и раньше, будем приводить общепринятые биомедицинские термины. Они не нужны для понимания нашего текста, но могут пригодиться продвинутым читателям при чтении дополнительной специальной литературы.

<sup>52</sup> «← аза» всегда используется для обозначения фермента, ДНК-полимераза – фермент, создающий полимер ДНК. Всё просто.

каждым делением теломеры немного укорачиваются. Мы об этом уже говорили раньше.

Здесь мы коснулись двух процессов, которые традиционно считаются причинами старения: *удвоение ДНК и сопровождающих его ошибок-мутаций и укорочение теломер*. Мы подробно остановимся на них в следующей части книги, посвященной старению.

Итак, в ядре созданы дубли хромосом для построения новой клетки. Для того чтобы распределить эти хромосомы по новым «квартирам», в клетке имеются специальные органеллы – *центриоли*. Мы о них раньше не говорили, потому что они выходят на сцену только при делении клетки. Грубо говоря, центриоль – это пучок трубочек, которые используются для растаскивания хромосом в новые клетки. Она находится вне ядра, но близко от него. Поскольку для притягивания хромосом в каждую новую клетку нужна своя центриоль, эти органеллы также удваиваются. Вот теперь уже всё готово и процесс деления (*митоз*)<sup>53</sup> начинается.

Теперь хромосомы, которые были развернуты для удвоения, туго сворачиваются (*конденсируются*). В таком виде их уже хорошо видно в микроскоп. Ядерная оболочка распадается, и центриоли тянут свои трубочки к соответствующим хромосомам.

---

<sup>53</sup> Митоз (др. – греч. *μίτος* – «нить») – деление клетки.



**Рис. 1.2.13. Растаскивание хромосом центриолями**

Сами хромосомы выстраиваются в одной плоскости посередине клетки, как это показано на средней схеме рис. 1.2.13.

Центриоли прикрепляются трубочками к дублированным («сестринским») хромосомам в месте их прикрепления друг к другу, (называемого *центромерами*, мы о них уже говорили<sup>54</sup>).

Дальше трубочки сжимаются и растаскивают дублированные («сестринские») хромосомы (рис. 1.2.13). И наконец, вокруг каждой группы хромосом образуются новые ядерные мембраны и появляется два новых ядра. ДНК в новых ядрах приводится в рабочее состояние (деконденсируется). Внутри новых ядер образуются ядрышки, и цитоплазма делится между двумя новыми клетками. Образуются новые оболоч-

---

<sup>54</sup> Центромеры – участок хромосомы, делящий ее на два неравных плеча. Центромеры, так же как теломеры, представляют собой повторяющиеся последовательности нуклеотидов.

ки. Процесс деления завершен.

Так рождаются почти все клетки человека. За исключением половых или репродуктивных. *Процесс рождения и деления половых клеток (мейоз) сильно отличается от обычного.*

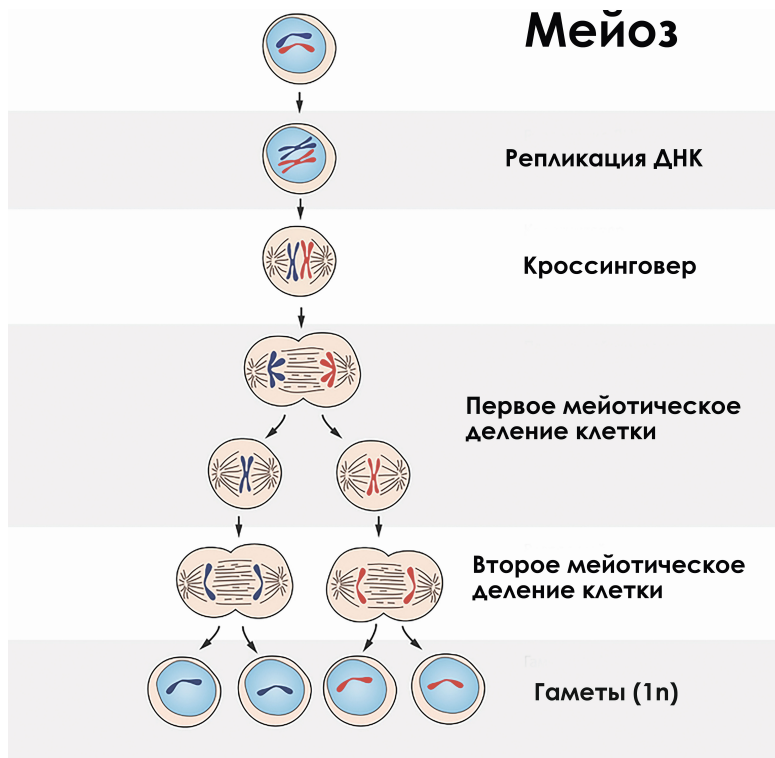
Собственно, отличия связаны с функциями половых клеток. Во-первых, мужские клетки должны соединиться с женскими и образовать первую клетку организма ребенка (*зиготу*). Значит, в каждой половой клетке (*гамете*) должен быть *только один набор хромосом – 23 хромосомы*. Второй набор берется от партнера.

Во-вторых, как мы помним, каждая клетка содержит два набора хромосом – материнский и отцовский. В половую клетку попадет только один набор. При этом он не может быть только материнским или только отцовским, иначе смысл полового размножения теряется. Необходимо, чтобы в ДНК сперматозоида и яйцеклетки были представлены гены обоих родителей, отца и матери. Это достигается тем, что перед делением отцовская и материнская хромосомы с одинаковым набором генов (*гомологичные хромосомы*) притягиваются друг к другу, тесно сближаются и во многих местах скрепляются<sup>55</sup>. Далее между ними начинается удивительный процесс обмена генами (*кроссинговер*). В результате на каж-

---

<sup>55</sup> Процесс точного и тесного сближения гомологичных хромосом называется *конъюгация* (от лат. conjugatio – «соединение»). Места соединения называют *хиазмами*.

дой хромосоме присутствуют и отцовские, и материнские гены – получается уже *отцовско-материнская хромосома*.



**Рис. 1.2.14. Схема деления половых клеток (мейоза)**

В целом схема мейоза представлена на рис. 1.2.14. *Мейоз состоит из нескольких шагов.*

Сначала всё идет как при обычном делении клеток: *хромосомы удваиваются*.

Однако второй шаг, совершенно особенный, – *кроссинговер*, обмен генами уже удвоившихся хромосом.

На третьем шаге уже смешанные отцовско-материнские хромосомы *делятся на две клетки* с обычным двойным набором хромосом.

Наконец, на четвертом шаге происходит еще одно деление каждой из двух клеток на две с уже одинарным набором хромосом. Итак, родилась половая клетка, готовая к соединению с половой клеткой партнера и образованию первой клетки нового организма (*зиготы*).

До своего рождения половая клетка (*гамета*) прошла немалый путь от первой клетки собственного организма (*зиготы*) через стволовые клетки и многие деления. Естественно, каждое деление сопровождалось определенными ошибками. На каждом этапе часть генов блокировалась различными эпигенетическими способами, о которых мы говорили раньше. В общем, клетка пришла к мейозу постаревшая и изрядно потрепанная жизнью.

И вдруг, совершенно чудесно, *вся предыдущая жизнь как бы обнуляется*. Клетка мгновенно молодеет, все приобретенные в процессе жизни и многочисленных делений метки исчезают, и половая клетка (*гамета*) готова к слиянию с партнерской клеткой и рождению нового организма! Значит, *существует путь быстрого омоложения клетки*. Это очень

впечатляет и ободряет!

Однако все клетки, кроме половых, *стареют и умирают*. В организме пожилого человека клетки работают не так, как у молодого. Теломеры заметно короче. Часть полезных генов эпигенетически заблокировано, а часть вредоносных, наоборот, стала работать интенсивнее. Клетки накопили запас белков для деления, но поделиться уже не могут. Функции этих клеток в организме выполняются заметно хуже. При этом старые клетки плохо влияют на ещё хорошо работающие. Они портят им рабочий настрой и сигнализируют: пора уже на отдых. Однако плохое функционирование больших групп клеток быстро приводит к ухудшению работы органов и систем. Начинаются сбои в работе, и старые клетки бесславно умирают вместе со всем организмом.

На порядки большее число клеток умирает в процессе жизни организма, обеспечивая его дальнейшую работу. Наиболее распространенный тип смерти клетки – *запрограммированная смерть (апоптоз)*.

Клетка гораздо больше, чем человек, склонна к альтруизму. Когда человек осознанно гибнет во имя долга, веры, царя, Родины, его считают героем. Для клетки такое поведение совершенно естественно.

*Запрограммированное самоубийство* может инициироваться как внешними, так и внутренними сигналами. По разным причинам организм (мозг, нервная и эндокринная системы) может подать клетке сигнал на самоуничтожение. На-

пример, у человеческого эмбриона сначала пальчики рук и ног соединены вместе в единую пластину. На определенном этапе развития подается сигнал на самоуничтожение клеток соединительной ткани между пальчиками и они приобретают привычный нам вид.

Часто многочисленные специальные белки, постоянно тестирующие состояние ДНК и белков-ферментов, обнаруживают в них непоправимые неполадки. В этом случае также подается сигнал на самоуничтожение. В хорошо работающем организме *суицидом заканчивают стареющие клетки*, которые уже плохо могут выполнять свои функции.

*Самоуничтожение идет крайне четко и аккуратно*. Специальные белки режут клетку на части, разрезают ДНК и крупные белки. Таким образом, подготовленные части клетки без остатков поглощаются и перевариваются макрофагами – специальными клетками иммунной системы. Такое самоубийство приносит организму пользу: он избавляется от ненужных или больных клеток, а все полезные вещества утилизируются.

Бывают случаи, когда *система самоуничтожения не срабатывает*. Тогда возникают негативные и даже страшные последствия. Клетка может накопить вредные вещества и умереть не по собственной воле и заранее заданной программе. Она просто взрывается. Происходит заражение межклеточного пространства выбрасываемыми вредными веществами – токсинами, приводящими к гибели соседних кле-

ток. Возникает *некроз*, и возможно отмирание отдельных тканей. Это может привести к смерти человека.

Как и у людей, клетка может предпочесть героическому поведению предательство. Она отказывается покончить с собой и начинает уже неконтролируемое организмом деление. Образуется множество бесконтрольно делящихся клеток. Так появляются *раковые опухоли*. Они живут отдельной от организма жизнью: переключают на себя питание, обзаводятся собственной сетью кровеносных сосудов. И в конце концов гибнут вместе с заболевшим человеком.

**Подведем итоги этой главы:**

**1. Все важные для жизни процессы происходят за счет химических связей, вызываемых исключительно электростатическими силами. Сильная ковалентная связь возникает, когда атомы делят общий электрон, а слабая водородная связь – общий протон (ядро водорода). Водородная связь обеспечивает связи между нуклеотидами в ДНК: Т – А и С – G. Ковалентная связь образует молекулы воды в форме диполей, заполняющих клетку и не позволяющих молекулам самопроизвольно соединяться. Для соединения молекул в живой клетке необходим фермент, который как бы раздвигает диполи воды и сближает молекулы так, чтобы они могли соединиться, а затем отпускает.**

**2. Жизнь на Земле существует в форме клеток,**

окруженных довольно прочной оболочкой. В центре клетки помещено маленькое ядро, хранящее информационную молекулу ДНК. Записанная в гене в кодах ДНК информация транскрибируется в коды РНК. В рибосоме информация транслируется из кодов РНК в белковый код аминокислот – синтезируется белок. Далее в эндоплазматической сети под действием ферментов белки обрабатываются и собираются, а в комплексе Гольджи белки модифицируются и сортируются. Бракованные белки утилизируются или выбрасываются из клетки.

3. Молекула ДНК человека, содержащая около 3 млрд пар нуклеотидов, разделена в ядре на 46 частей, названных хромосомами. Они образуют 22 пары (от отца и матери) и 2 половых хромосомы. Довольно длинная, почти двухметровая ДНК наматывается на белки-гистоны и невероятно плотно упаковывается в малюсеньком ядре. Для начала работы участок ДНК, содержащий ген, должен освободиться и распутаться (деконденсироваться), чтобы к нему мог подойти специальный белок-промотор, строящий соответствующую молекулу РНК. Промотору может помешать прикрепленная к ДНК молекула метила. В этом случае соответствующий ген заблокирован. Копирование ДНК при делении клетки осуществляет ДНК-полимераза, которая прикрепляется к краю каждой хромосомы,

называемому «теломера». Поскольку часть теломеры, на которой крепится ДНК-полимераза, не копируется, теломера с каждым делением укорачивается.

4. Форму клетки определяет гибкая оболочка и цитоскелет, состоящий из трубочек и нитей, по которым транспортируются белки. При этом трубочки и нити цитоскелета быстро строятся по мере потребностей и разбираются при ненадобности. В клетке работает несколько видов удивительных молекулярных машин, важнейшие из которых – калиево-натриевый насос, поддерживающий повышенную концентрацию калия и пониженную натрия в клетке по сравнению с межклеточной жидкостью, и АТФ-синтаза, образующую молекулу транспорта энергии АТФ. Невероятно, но АТФ-синтаза – полная копия электромагнитного мотора со статором и ротором.

5. Клетка рождается при делении клетки-родителя путем сложного и многоступенчатого процесса деления – митоза. Иначе происходит рождение половых клеток – мейоз. В результате соединения мужской и женской половых клеток рождается первая клетка нового организма (зигота). Удивительно, но она появляется на свет совершенно обновленной и готовой к огромному числу новых делений. Значит, есть возможность полного омоложения на клеточном уровне. Смерть клетки часто носит характер самоубийства,

**называемого «апоптоз». Это очень полезный процесс самоуничтожения больных или старых клеток с их полной разборкой «на запасные части» для здоровых клеток. Однако есть клетки, которые хотят жить вечно. Они восстают против установленного порядка и становятся раковой опухолью.**

## **Глава 1.3. Как устроены системы и органы человека**

В главе 1.1 мы описали, как работает сообщество клеток, коим, в сущности, и является человек, в самых общих чертах. Во главе 1.2 уже довольно подробно описаны устройство и жизнь клеток. В этой главе мы *рассмотрим отдельные системы жизнеобеспечения и входящие в них важнейшие органы человека*. Возможно, некоторым читателям известно, как устроены основные системы человека, – тогда он может пропустить известные ему разделы. Нам необходимо это описание для целостности картины, чтобы во второй части книги рассмотреть старение этих систем и связанные со старением болезни, а в третьей части – возможные способы лечения этих болезней и, в определенном смысле, самого старения.

### **1.3.1. Система пищеварения и энергетического обеспечения человека**

Мы начинаем с системы *пищеварения*, поскольку она, по видимому, является самой древней. Эта система *напоминает огромного червя*, которого окружают другие, эволюционно появившиеся гораздо позже системы и органы человека.

В главе 1.1 мы рассмотрели важнейшие составляющие на-

шей пищи: углеводы, белки и жиры. *Целью пищеварительной системы является превращение этих компонент в более простые вещества: углеводов – в глюкозу; белков – в аминокислоты; жиров – в жирные кислоты.* Аминокислоты и жирные кислоты клетка умеет превращать в универсальное клеточное топливо ацетил-КоА, из которого довольно сложным, но чрезвычайно эффективным способом (цикл Кребса, фактически сжигание глюкозы) клетка производит энергию. Затем эта энергия на специальном станке (АТФ-аза) преобразуется в энергию химической связи молекулы АТФ, которая участвует практически во всех реакциях организма, требующих энергетических затрат.

Когда мы съедаем какую-нибудь пищу, она при необходимости пережевывается зубами, перемешивается со слюной языком и превращается в пищевой комок. В главе 1.1.4 мы довольно тщательно рассмотрели приготовление углеводов, белков и жиров для их потребления клеткой. Теперь мы изучим эти же процессы с другой стороны: более детально остановимся на работе органов пищеварительной системы. Поскольку мы описываем одни и те же процессы с разных позиций, некоторые важные моменты будут повторены, но, по моему мнению, частичные повторы очень полезны при изучении сложных тем.

Мы будем двигаться по пищеварительной системе сверху вниз, следя за *пищевым комком (рис. 1.3.1)*.

***Рот и слюнные железы.*** Первые превращения пищи пре-

терпевает уже во рту под действием слюны. Слюноотделение осуществляется множеством слюнных желёз, среди которых выделяется три пары больших слюнных желёз: околоушные, подчелюстные и подъязычные слюнные железы. Их расположение очевидно из названий. Остальные железы считаются малыми. Железы выделяют 1–2 литра слюны в сутки.

Пища во рту (16–18 секунд до проглатывания) анализируется рецепторами, и результаты анализа передаются всем органам пищеварения для соответствующей подготовки. Слюна – активный пищеварительный сок. В ней содержится около 50 различных ферментов, обеспечивающих ротовое пищеварение. За счет ферментов (*амилазы и мальтазы*) слюна расщепляет углеводы до простых сахаров. Она смачивает и склеивает пищевой комок. Кроме того, некоторые ферменты могут убивать определенные вирусы и дезинфицировать пищу.

**Пищевод** – следующий этап прохождения пищевого комка – представляет собой полую, покрытую внутри слизью трубку из мышечной ткани, идущую от гортани до желудка. Со стороны глотки и желудка расположены два запирающих клапана (*сфинктера*), препятствующих выбрасыванию агрессивных жидкостей из желудка в пищевод (*нижний сфинктер*) и из пищевода в глотку (*верхний сфинктер*)<sup>56</sup>. Пи-

---

<sup>56</sup> Если плохо закрывается нижний сфинктер, то возникает изжога (главный симптом рефлюкс-эзофагита). Плохая работа верхнего сфинктера приводит к неприятной отрыжке.

щевой комок транспортируется по пищеводу под действием самопроизвольных мышечных сокращений 8–10 секунд.

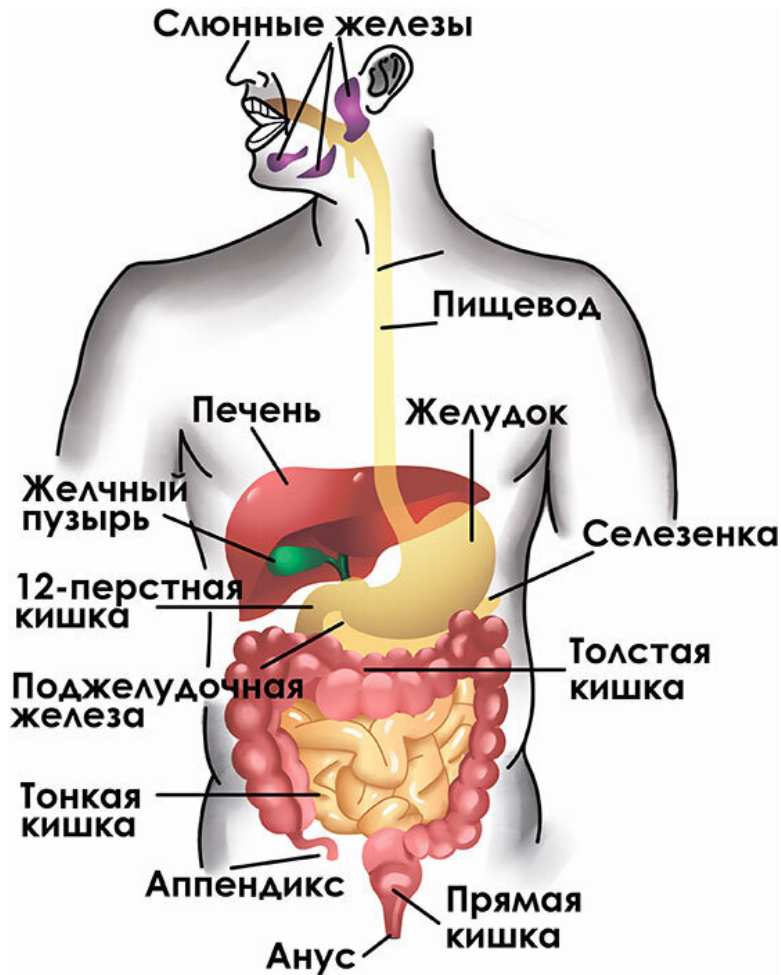


Рис. 1.3.1. Система пищеварения

**Желудок** – полый, выстланный эпителием и слизью мышечный орган, идущий от пищевода к двенадцатиперстной кишке. Его объем меняется от полулитра (пустой) до 2 литров (полный). Мышцы желудка интенсивно перемешивают пищу, а примерно 15 млн желёз слизистой оболочки желудка выделяет желудочный сок, содержащий соляную кислоту и пищеварительные ферменты (*пепсин, липазу и др.*). Желудочный сок расщепляет белки до пептидов и аминокислот (*пепсин*) и частично жиры (*липаза*), соляная кислота убивает бактерии. Клетки эпителия постоянно соприкасаются с соляной кислотой и поэтому нуждаются в замене примерно раз за двое суток. После переваривания в желудке пищевой комок, который в желудке становится пищевой кашцей и приобретает новое название *химус*, готов к движению в *двенадцатиперстную кишку*, куда его проталкивают мышцы желудка.

**Двенадцатиперстная кишка**<sup>57</sup> – первая часть тонкого кишечника – отделена от желудка еще одним клапаном-сфинктером, красиво названным *привратником желудка*. Он отделяет желудок с его кислой средой от тонкого кишечника с преимущественно щелочной средой. В двенадцатиперстную кишку через еще один клапан-сфинктер впрыскивается желчь из желчного пузыря и поджелудочный (*панкреатический*)<sup>58</sup> сок из, соответственно, поджелудочной же-

---

<sup>57</sup> Её длина составляет примерно двенадцать поперечников пальца руки (около 25–27 см). Отсюда название.

<sup>58</sup> «Поджелудочный» и «панкреатический» – синонимы.

лезы. Сюда же добавляется произведённый собственными железами тонкого кишечника кишечный сок, содержащий 22 фермента. Смесь кишечного, поджелудочного сока и желчи действует гораздо эффективнее, чем каждое составляющее вещество в отдельности. Так, ферменты поджелудочного сока расщепляют жиры в присутствии желчи в 20 раз эффективнее, чем без нее. Ферменты поджелудочного (панкреатического) сока *ДНК-аза и РНК-аза расщепляют длинные последовательности ДНК и РНК до очень коротких, состоящих из относительно небольшого числа нуклеотидов*. Поэтому *страхи о возможности генно-модифицированных организмов (ГМО) передавать свои гены съевшему содержащий ГМО продукт человеку совершенно беспочвенны*.

**Тонкий кишечник** – орган пищеварения длиной 5 метров и толщиной 3–3,5 см. В нем продолжается и практически завершается пищеварительный процесс, то есть процесс расщепления белков на аминокислоты, углеводов на моносахариды и жира на жирные кислоты и глицерин. Аминокислоты и совсем небольшие пептиды, глюкоза и другие простые сахара, жирные кислоты и глицерин всасываются в тонком кишечнике множеством специальных ворсинок и по крови и лимфе доставляются во все клетки организма. Причем в лимфу поступают продукты переработки жиров, а в кровь – аминокислоты и простые углеводы.

Кишечник – самый защищенный иммунной системой орган. Здесь находится около 80 % всех иммунных клеток, об-

разующих барьер от вредных веществ и бактерий.

При питании белки пищи усваиваются в среднем на 84,5 %, жиры – 94 %, углеводы – 95,6 %. Не переваренные в тонком кишечнике остатки, основную часть которых составляет клетчатка, проталкиваются мышцами кишечника в толстый кишечник.

**Толстый кишечник** имеет длину около 1,5 метра и толщину от 4 до 7 см в разных частях. Толстая кишка вырабатывает собственный сок, который по составу близок к кишечному соку тонкой кишки, но примерно в 10 раз меньшей концентрации. Собственный сок и проникающий в толстую кишку сок тонкой кишки завершают пищеварительный процесс. В толстом кишечнике из поступающего в него пищевого комка (химуса) формируется каловая масса. В слепой кишке, расположенной правее входа тонкой кишки в толстую кишку, из пищевого комка высасывается большая часть воды. В толстом кишечнике живет почти вся микробиота – около 1000 видов различных бактерий. О микробиоте мы поговорим чуть позже. В толстом кишечнике при помощи микробиоты вырабатываются витамины группы В и витамин К. Каловая масса под действием мышц толстого кишечника (*перистальтика*<sup>59</sup>) выталкивается из толстого кишечника через его конечную часть – прямую кишку и задний проход (*анус*).

---

<sup>59</sup> Перистальтика – волнообразное сокращение мышц стенок пищевода, желудка, кишечника, продвигающее их содержимое к выходным отверстиям.

Многие важные органы работают в двух или даже нескольких системах. Мы будем в общих чертах описывать их при первой встрече, а затем при рассмотрении каждой системы отмечать выполняемые конкретным органом функции. Важные функции в системе пищеварения, и не только в ней, играют печень и поджелудочная железа.

**Печень** – самый большой (около 1,5 кг) и невероятно многофункциональный внутренний орган, расположенный в правом подреберье (рис. 1.3.1). Печень – единственный орган человека, способный к регенерации при удалении до 75 % его массы. Она восстанавливается, как хвост у ящерицы! У печени множество функций, из которых к пищеварению и энергообеспечению можно отнести производство желчи и гликогена.

**Гликоген** представляет собой полимер глюкозы и служит для ее хранения. То есть связанные друг с другом молекулы глюкозы образуют гликоген. Его также называют животным крахмалом, поскольку гликоген и крахмал – полимеры глюкозы. В теле человека обычно имеется около 450 г гликогена, из которых треть – в печени, а остальные – в мышцах. При нехватке энергии гликоген расщепляется, молекулы глюкозы освобождаются и вырабатывают АТФ в циклах Кребса, происходящих в клетках мышц и в других клетках.

**Желчь** производится в объеме до 2 литров в сутки клетками печени (гепатоцитами). В ней содержатся желчные кислоты, которые синтезируются в печени из холестерина и по-

ступают в желчный пузырь, служащий для временного хранения желчи. Жиры не растворяются в воде, поэтому они могут подвергаться действию растворённых в воде ферментов только на границе раздела вода / жир. Для увеличения площади этого раздела желчные кислоты разделяют жиры на мелкие капли (эмульгируют их), смешивают капли жира с водой. Это дает доступ к жирам содержащимся в панкреатическом (поджелудочном) соке ферментам (липазе), разлагающим жиры. Желчь способствует не только перевариванию жиров, но и их всасыванию.

**Поджелудочная железа** расположена прямо под желудком в изгибе двенадцатиперстной кишки<sup>60</sup>. Она делится на две части. Одна из них выполняет эндокринную функцию. Она синтезирует два важных гормона – инсулин и глюкагон. О них мы поговорим позже, когда будем описывать эндокринную систему. Вторая часть относится к пищеварительной системе и поставляет в двенадцатиперстную кишку поджелудочный (панкреатический) сок, который содержит расщепляющие жиры ферменты. Поджелудочный сок и желчь, которая усиливает его действие, вливаются в двенадцатиперстную кишку через один проход, перекрываемый управляющим потоком клапаном (*сфинктер Одди*).

**Энергоснабжение** человека устроено чрезвычайно эффективно. Задумайтесь, в 60 трлн клеток человека постоян-

---

<sup>60</sup> Длина поджелудочной железы взрослого человека – в среднем около 20 см, ширина – 6 см (в области головки), толщина – 2 см. Масса органа – около 80 г.

но, днем и ночью идут тысячи химических реакций, каждая из которых требует подвода энергии. Количество энергии, необходимое для этих реакций при полном покое, называют *основной обмен*. Для каждого человека энергия покоя, или основного обмена, конечно, разная. Она характеризует интенсивность химических реакций, метаболизма. Однако в среднем она равна  $1 \text{ ккал на кг веса в час}$  и для конкретного человека может отклоняться, но не сильно. Это значит, что при весе 70 кг для поддержания работы тела в состоянии покоя человеку нужно 1680 ккал в сутки. Дополнительная энергия нужна для выполнения различных движений: ходьбы, различных работ, физических упражнений. Например, быстрая ходьба требует 300 ккал в час, печатание на компьютере – 150 ккал в час. Расходы энергии на все виды деятельности приведены, например, на сайте <https://hiki-soft.ru/info/4.html>.

В среднем офисный работник тратит около 2200 ккал в сутки, а каменщик – 5000 ккал. Значит, энергия, которую тратит человек на химические реакции всех его клеток, на снабжение всех его органов и мышц при сидячей работе, примерно равна энергии обычной лампочки мощностью 100 ватт<sup>61</sup>. Это удивительно экономно.

Необходимая энергия получается, естественно, из продуктов питания. В конечном итоге, от их сгорания в мито-

---

<sup>61</sup> 2200 ккал = 9240 Кдж (перевод из одних единиц в другие: в 1 ккал 4,2 кДж); 9240\*24\*3600 = 86400 секунд в сутках; 9240000 Дж: 86 400 секунд = 107 ватт.

хондриях в бесчисленных циклах Кребса. Мы помним (это хорошо бы запомнить), что один грамм углеводов и белков дает около 4 ккал, а грамм жиров – 9 ккал. Исходя из этого, можно рассчитать, сколько энергии дает та или иная пища. Впрочем, для большинства продуктов они, конечно, подсчитаны и сведены в таблицы (<http://www.calorizator.ru/product>).

*Баланс энергии свести совсем нетрудно.* Нужно подсчитать энергию пищи и вычесть из нее израсходованную энергию. Если разность положительна, то вес вырастет, если отрицательна – убавится. Конечно, насколько вес прибавится или убавится, зависит от особенностей человека, но не так сильно, как принято думать. Биологические системы, к которым относится человек, довольно инертны. Изменения в весе могут запаздывать, но обязательно произойдут.

Нужно запомнить, что *прибавки или уменьшение веса на 90 % вопрос баланса энергии.* В очень, очень редких случаях следует учитывать эндокринные (гормональные) особенности. И как говорится, «что сверх того, то от лукавого»<sup>62</sup>.

Баланс энергии – важнейший фактор здоровья. Во второй части мы рассмотрим разбалансировку этого баланса, приводящую к *метаболическому синдрому*, а в третьей – способы ограничения калорийности как доказанный метод противодействия старению.

---

<sup>62</sup> Мф. 5, 37.

## 1.3.2. Дыхательная система

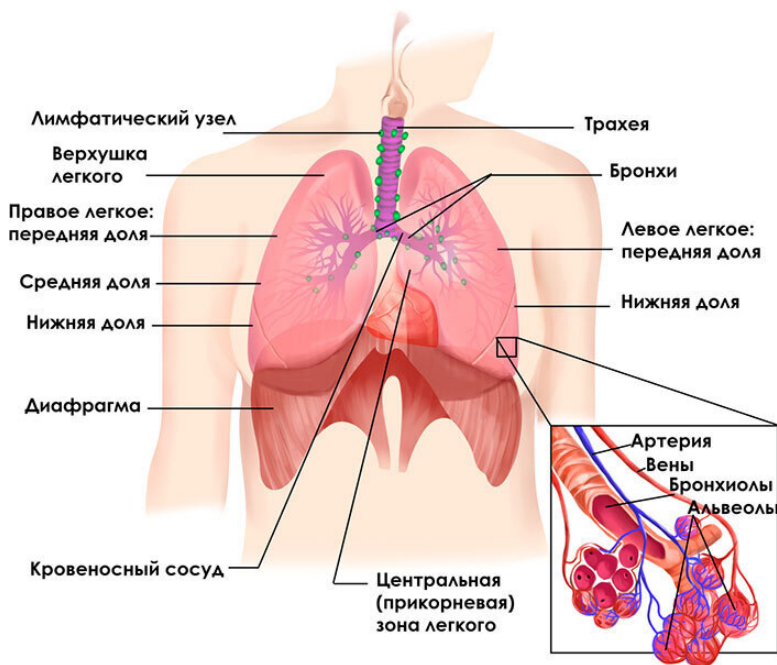
Дыхание, то есть окисление элементов питания кислородом, фактически их медленное сжигание, стало величайшим завоеванием эволюции. Энергия из глюкозы может извлекаться и без кислорода, простым ее разложением – *гликолизом*. Так получали энергию простейшие организмы в докислородную эпоху. Однако участие кислорода в 16 раз увеличивает выход энергии из одной молекулы глюкозы, то есть делает энергообеспечение в 16 раз эффективнее. Сейчас у человека гликолиз продолжает использоваться на первом этапе переработки глюкозы. Из него получается всего 2 молекулы АТФ. Затем включается кислород и процесс «горения» дает еще 32 молекулы АТФ. Так что общая формула переработки глюкозы в энергию будет: *глюкоза + кислород → углекислый газ + вода + энергия*.

Для организации этого процесса необходимо подать кислород к каждой клетке организма. Это делает дыхательная система.

Если по пищеварительной системе мы двигались с пищевым комком, то по дыхательной системе естественно идти вслед за вдохом воздуха. *Вдох обеспечивается клетками мускульной ткани, дыхательной мышцей*.

**Глотка** соединяется каналами с носом и ртом и ведет к гортани. Это общий путь воздуха при вдохе и пищевого ком-

ка, что иногда приводит к опасным ситуациям. Воздух в объеме около  $500 \text{ см}^3$  мышечным усилием втягивается в нос. Далее через носоглотку он попадает в ротоглотку, в которой сходятся дыхательные и пищеварительные пути.



**Рис. 1.3.2. Дыхательная система**

*Гортань* – сложный орган, стенки которого состоят из хрящей. Он соединяет глотку с трахеей. Полость гортани вы-

стлана эпителиальной слизистой оболочкой. При прохождении пищевого комка гортань закрывается клапаном-надгортанником, чтобы избежать его попадания в дыхательные пути. В гортани расположены *голосовые связки*, через которые проходит воздух при выдохе. Связки вибрируют, как струны. Высота издаваемого звука зависит от натяжения связок. При натяжении связок тон выше.

***Трахея, бронхи и легкие.*** Дальше воздух поступает в ***трахею*** (хрящевая трубка длиной 10–13 см, выстланная эпителием), которая снизу делится ***на два бронха***, ведущих в ***легкие***. Оба бронха делятся на всё более мелкие трубочки-бронхиолы, образующие бронхиальное дерево.

Это дерево заканчивается маленькими листиками – пузырьками, которые называют *альвеолами*. Их у человека около 500 млн. Каждая альвеола выстлана клетками легочного эпителия – альвеолоцитами (дословный перевод – «клетки альвеол»). Именно через альвеолоциты происходит газообмен с клетками крови. Кислород из альвеол через клетки-альвеолоциты попадает в клетки крови эритроциты (дословный перевод – «красные клетки»), где он связывается с ионом железа  $Fe^{2+}$  гемоглобина, который и придает эритроциту красный цвет. Эритроцит – маленькая клетка без ядра – легко проникает во все мельчайшие капилляры. Гемоглобин обладает замечательным свойством. Если в среде много углекислого газа, связь иона железа с кислородом ослабевает и кислород высвобождается. То есть *он высвобождается*

*в тех местах, где накопилось много  $\text{CO}_2$ . Именно там и нужен кислород.* Эритроцит отдает кислород в межклеточную жидкость, откуда он проникает в клетку и используется для ее жизни. Углекислый газ из межклеточной жидкости диффундирует в эритроцит и доставляется ими в альвеолы, в которых он обменивается на кислород.

**Легкими** называют парные органы, образованные бронхами, бронхиолами и альвеолами. В них происходит газообмен. Легкие заключены в двухслойную оболочку плевры. Между слоями имеется немного жидкости. Снизу легкие отгорожены от брюшной полости большой мышцей – диафрагмой. Правое легкое состоит из трех долей и немного больше, чем двухдольное левое легкое, которое освобождает место для сердца.

У легких нет собственных мышц, поэтому при вдохе межреберные мышцы и диафрагма раздвигают их и создают область пониженного давления (вдох), а затем сжимают (выдох). Так происходит вентиляция альвеол.

В результате этого процесса наша клетка отдает в клеточную жидкость накопленный в результате жизнедеятельности углекислый газ и получает из нее же необходимый ей кислород.

### 1.3.3. Система кровообращения – транспортная система человека

Для клеток человека необходим *постоянный подвод кислорода и питательных веществ*. Для этого нужно обеспечить транспортировку кислорода из легких и белков, жиров, углеводов из пищеварительной системы ко всем без исключения 60 трлн клеткам. Это делает кровеносная система.

*Кровь*, как мы уже знаем, – соединительная ткань, состоящая из жидкой части, *плазмы крови*, и кровяных клеток – эритроцитов, тромбоцитов и лейкоцитов. Именно плазма переносит питательные вещества: аминокислоты, глюкозу, жирные кислоты. Для переноса нерастворимых и плохо растворимых в воде веществ в плазме имеются специальные небольшие белки (*альбумины*), которые называют «молекулы такси».

Кислород переносят, как мы уже говорили, небольшие, лишенные ядра клетки *эритроциты*. Железо придает им и всей крови красный цвет. Они живут недолго – около 120 дней.

*Тромбоциты* также невелики и лишены ядра. Они отвечают за свертываемость крови и быстрое закрытие мест повреждения сосуда.

*Лейкоциты* (белые<sup>63</sup> клетки крови) – общее название мно-

---

<sup>63</sup> «Лейкос» в переводе с древнегреческого «белый».

жества различных по строению и функциям клеток иммунной системы. Они довольно крупные, но их примерно в 1000 раз меньше, чем эритроцитов. Лейкоциты обитают не только в крови, но и в лимфе, а также легко проходят через капилляры в межклеточную жидкость.

Все клетки крови вырабатываются главным образом в костном мозге тазобедренных и некоторых других костей.

Теперь обратимся к кругам кровообращения и пройдем по ним вместе с порцией крови, получившей импульс от сердца.

*Сердце* традиционно считается важнейшим внутренним органом. В лирических стихах, песнях, пословицах оно выступает как сущность человека, аналог его «Я». Видимо, человека всегда удивлял этот орган, удары которого мы слышим всю жизнь. Причём волнения и переживания явно ускоряют темп этих ударов, а спокойствие быстро умиротворяет работу сердца.

Сердце состоит из действительно необычных клеток – *кардиомиоцитов*, которые составляют основу сердечной мышцы *миокарда*<sup>64</sup>. Сокращение кардиомиоцитов происходит примерно так же, как обычных мышечных клеток – *миоцитов*. В каждой клетке мышцы параллельно друг другу имеются две белковые нити: первая – с изгибами-зацепками (*актин*), а вторая – с головками, которые могут входить в изгибы первой нити (*миозин*). Когда от нервной системы

---

<sup>64</sup> «Мيو» – «мышца», «кардио» – «сердце», миокард – сердечная мышца.

приходит электрический сигнал на сокращение, открываются каналы для прохода ионов кальция в клетку. Эти ионы связываются с изгибами первой нити и создают надежное скрепление для головок второй нити. Головки прикрепляются к первой нити и заставляют ее сокращаться. Разумеется, для сокращений кардиомиоцитам постоянно нужна энергия. К каждому выступу и головке для сцепления нужна молекула АТФ. Поэтому *30 % объема кардиомиоцитов занимают митохондрии.*

*Если кальция не хватает, число тянущих головок, прикрепляющихся к первой нити, уменьшится и сжатие сердца будет проходить менее интенсивно.* Объем прогоняемой крови за одно сжатие уменьшится.

Электрический сигнал на сокращение клеток миокарда кардиомиоцитов подает *работающая на уровне подсознания вегетативная нервная система.* Сигнал приходит в *синусовый узел* правого предсердия. После этого сигнал на сокращение и расслабление передается всем клеткам в автоматическом режиме. То есть клетки сами передают сигнал соседям, наподобие того как кости домино, поставленные рядом друг другом, начинают падать одна за другой после падения первой кости. Синусовый узел представляет собой группу кардиомиоцитов, ответственных за ритм сердца. Этот узел является *водителем ритма* для всех клеток сердца.

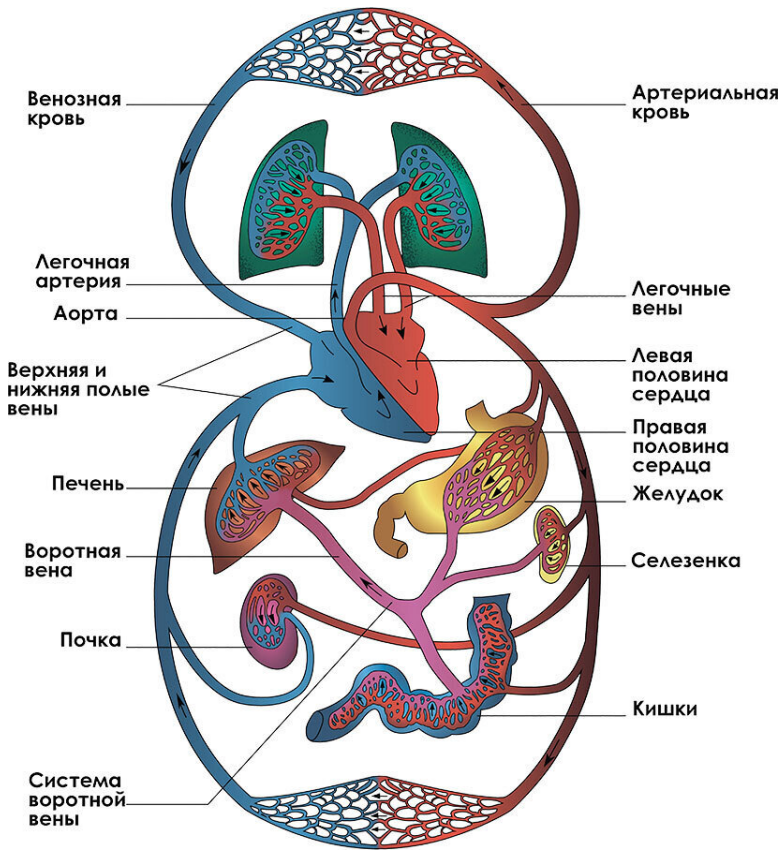
В норме ритм сердца – 60–70 ударов в минуту. Более частый пульс называют *тахикардией*, а более медленный – *бра-*

*дикардией*<sup>65</sup>. В случае болезни ритм может сбиться или переключаться на другой узел. Возникает нарушение сердечного ритма, или *аритмия*. О возрастных болезнях сердца мы подробно поговорим во второй части книги.

Итак, с сокращениями и расслаблениями сердца мы разобрались. Допустим теперь, что сердце сократилось и порция богатой кислородом крови (как она обогатилась кислородом, мы обсудим позже) из левого желудочка устремилась в самую большую *артерию* – *аорту*. Принято называть сосуды, несущие кровь *от сердца, артериями*, а к сердцу – *венами*.

---

<sup>65</sup> Тахикардия – от др. – греч. «тахи», «быстрый», и «кардия», «сердце». Бр-дикардия – от греч. «бради», «медленный».



**Рис. 1.3.3. Система кровообращения**

Аорта разветвляется на артерии, артерии – на артериолы, а артериолы – на капилляры. В капиллярах происходит газообмен. Кислород отрывается от гемоглобина в доставляю-

щих кислород клетках крови эритроцитах и поступает в различные клетки тела, а от них кровь забирает и уносит углекислый газ и другие отходы жизнедеятельности.

Часть крови из аорты идет в мозг, а другая часть поступает во все жизненно важные органы: печень, почку, желудок, кишечник, селезенку и др.

**Печень** играет огромную роль в системе кровообращения. Как мы знаем, питательные вещества из желудка и кишечника всасываются в кровь, точнее в капилляры, расположенные в брюшной полости. Эта кровь собирается в одну большую вену, называемую воротной, и поступает в печень. Клетки печени гепатоциты обрабатывают всю проходящую через печень кровь. Они не только *обезвреживают токсины, убивают вредные бактерии и вирусы, но и преобразуют избыточную глюкозу в гликоген, синтезируют белки плазмы крови* (помните, «молекулы-такси»), *желчь и холестерин* (о нем поговорим позже). Из печени выходит *очищенная и обогащенная питательными веществами кровь*.

**Почки** – два почти одинаковых органа, по форме напоминающие фасоль, примерно по 150 г каждая (левая почка чуть больше правой). В кровеносной системе они выполняют фильтрующую функцию. Кровь поступает в почки по артерии, затем, как обычно, расходится по артериолам и дальше по капиллярам. Из них кровь всасывается в клетки почек нефроны (по-древнегречески «нефрон» означает «почка»). Здесь она проходит очистку от вредных веществ. Затем

из получившейся уже обезвреженной жидкости (первичная моча) откачиваются оставшиеся полезные вещества. После этого вторичная моча поступает в мочевой пузырь – накопитель и далее в мочеточник.

Отдавшая кислород кровь собирается множеством вен через верхнюю (от мозга и верхней части тела) и нижнюю (от нижней части тела) полые вены и поступает в правое предсердие. Отсюда она идет в правый желудочек и с силой выталкивается в так называемый малый, легочный круг кровообращения. Здесь кровеносная система, как всегда, ветвится до капилляров и соприкасается с альвеолами, с которыми происходит уже хорошо нам знакомый газообмен. Обогащенная кислородом кровь поступает в левое предсердие, отсюда в левый желудочек. Круг замкнулся.

Итак, левая часть сердца – предсердие и желудочек – толкают кровь по всему телу (большой круг), а правая часть – по легочному, малому кругу. Кровь всегда входит в предсердия, а выходит из желудочка. Части сердца изолированы, это два отдельных насоса, правда работающих синхронно.

**Сосуды** кровеносной системы делятся на артерии, по которым кровь под большим давлением движется от сердца, и вены, несущие кровь уже при небольших давлениях в направлении сердца. Различают *систолическое давление* в сосудах, возникающее при сокращении сердца, и *диастолическое*<sup>66</sup> – при его расслаблении.

---

<sup>66</sup> Диастолическое – от др. – греч. «диастола», «разрежение», систолическое –

Сосуды – это не просто полые трубки, по которым идет, вернее бежит кровь. Мы употребили слово «бежит», поскольку кровь, например эритроцит, делает полный круг кровообращения всего за 20 секунд<sup>67</sup>.

Артерии имеют трехслойную структуру стенок: внутренний и внешний слои выложены эпителием, а между ними *слой мышц, которые закручены вокруг сосуда*. Эти мышцы, так же как и мышца сердца – миокард, могут сокращаться, сжимая просвет сосуда, и расслабляться, расширяя его. Степень сжатия мышц называют *тонусом сосуда*.

В системе кровоснабжения, в отличие от привычной нам системы водообеспечения, изменение скорости потока происходит не за счет повышения давления, а, в основном, благодаря расширению сосудов. То есть сосуд вместе с сердцем выполняет насосную функцию.

Артериальная стенка состоит из коллагена, эластина и гладкомышечных клеток. *Жесткость коллагена с годами увеличивается в 2 раза*, вместе с ним растет жесткость стенок сосуда. При этом в возрасте 20–40 лет расход энергии левым желудочком сердца составляет 11,7 ватт, а в возрасте 60 лет и выше – 14,1 ватт. (Мы помним, что общий расход энергии человеком в секунду – около 100 ватт. Значит, на работу сердца тратится около 15 % всей энергии.)

---

от «систола», «сжатие».

<sup>67</sup> Сердце выталкивает кровь на скорости 1,6 км/ч. Кровь достигает капилляров на скорости 0,1 км/ч.

Под влиянием различных факторов сосуды могут сжиматься и даже спазмировать. Сосуды расслабляет повышение концентрации углекислого газа в крови, а сжимает гормон ангиотензин II. Подробно эту тему мы обсудим во второй части книги.

*Вены устроены совсем не так, как артерии.* Внутренняя поверхность вен, так же как и у артерий, выстлана эндотелием. Внешняя же поверхность состоит из плотной соединительной ткани, придающей венам характерную синюю окраску. Во внутреннем слое гораздо меньше мышц, чем у артерий. Кровь идет по венам под малым давлением, и, чтобы не допускать противоток, в венах имеются специальные перекрывающие их клапаны, которые направляют кровь в нужном направлении. Давление в венах гораздо меньше, чем в артериях, поэтому объем их намного больше. В венах в каждый момент времени находится две трети всей крови человека.

### **1.3.4. Опорно-двигательная система**

Возраст человека можно почти безошибочно определить по его осанке, походке и даже по небольшим движениям рук, наклону головы. Это наглядно показывает, какое значение при старении, а именно оно интересует нас больше всего, имеет состояние костей и мышц человека.

*У человека около 200 костей и 650 мышц. Кости* снаружи

компактные, а внутри губчатые. Компактная часть, та, что снаружи, состоит из остеонов, которые представляют собой несколько цилиндрических пластинок, вставленных одна в другую. В центре каждого остеона проходит канал, содержащий нервы, кровеносные и лимфатические сосуды. Губчатое вещество внутри кости состоит из полостей с красным костным мозгом, отделенных друг от друга перегородками.

Кости превосходят сталь по прочности, но при этом весят намного меньше. Если скелет человека был бы изготовлен из стали, его вес превысил бы в среднем 250 кг. Эйфель возвел свою башню, копируя строение человеческой кости, что позволяет ей выдерживать большие нагрузки.

С возрастом кости становятся более хрупкими. Главная причина – *остеопороз* – потеря костной массы, вызванная нарушениями в обмене веществ (*метаболизме*). По данным ВОЗ, в Европе смертность от переломов, связанных с остеопорозом, превышает количество смертей от онкологических заболеваний.

Кости соединяются между собой посредством *хрящевых прослоек*, как, например, позвонки, или *суставов*, которые образованы впадиной на конце одной из костей и головкой на конце другой (например, соединение конечностей). Внутри сустава имеется смазка, облегчающая движение головки внутри впадины. С возрастом смазка постепенно уменьшается, суставы изнашиваются и становятся тоньше, хрящевые прослойки также стираются. Рост человека за счет уменьше-

ния межпозвонковых дисков становится меньше, движения при износе суставов становятся ограниченными, что сразу сказывается на походке и осанке.



**Рис. 1.3.4. Опорно-двигательная система**

*Мышцы* осуществляют все движения по сигналам нервной системы. Они крепятся к костям сухожилиями и при

сокращении приводят кости в движение. Кости участвуют в движениях пассивно, как механические элементы-рычаги. Мышцы сокращаются и расслабляются по команде нервной системы неосознанно, под воздействием подсознания, точнее вегетативной нервной системы. При этом мышцы действуют удивительно синхронно. Так, при каждом шаге одновременно движется около 200 мышц. При старении мышцы уменьшаются в объеме, люди старше сорока лет теряют от 2 до 3 % мышечной массы в год. После шестидесяти лет потеря может достигнуть 5 % в год.

Нашей целью не является подробное описание анатомии человека. Коснемся только важнейших частей скелета (рис. 1.3.4). Прежде всего, это *череп*, надежно защищающий главный орган человека – мозг. На черепе крепятся лицевые мышцы, составляющие, кстати, 25 % всех мышц. Это обеспечивает замечательную мимику человеческого лица. Между прочим, челюстная мышца – самая сильная мышца человека.

*Основа скелета – позвоночник.* Эксперты считают, что здоровье человека во многом зависит от состояния позвоночника. К нему и к проходящей параллельно ему грудине крепятся ребра, образующие *грудную клетку* и защищающие главные внутренние органы.

К грудной клетке при помощи связок и мышц прикреплена ключица, которая вместе с лопаткой (плоская кость, похожая на лопату) через сустав связана с плечевой костью. Заме-

тим, что анатомическое плечо не совпадает с бытовым. Плечевая кость в анатомическом значении идет от плеча до локтя.

Далее идут две тазовые кости, крестец и копчик, соединённые суставами пояса нижних конечностей в *костное кольцо таза*. К нему суставами крепятся самые длинные у человека бедренные кости, а к ним, в свою очередь, берцовые кости. Заметим, что соединительные суставы этих костей подвержены травмам и связанному со старением разрушению.

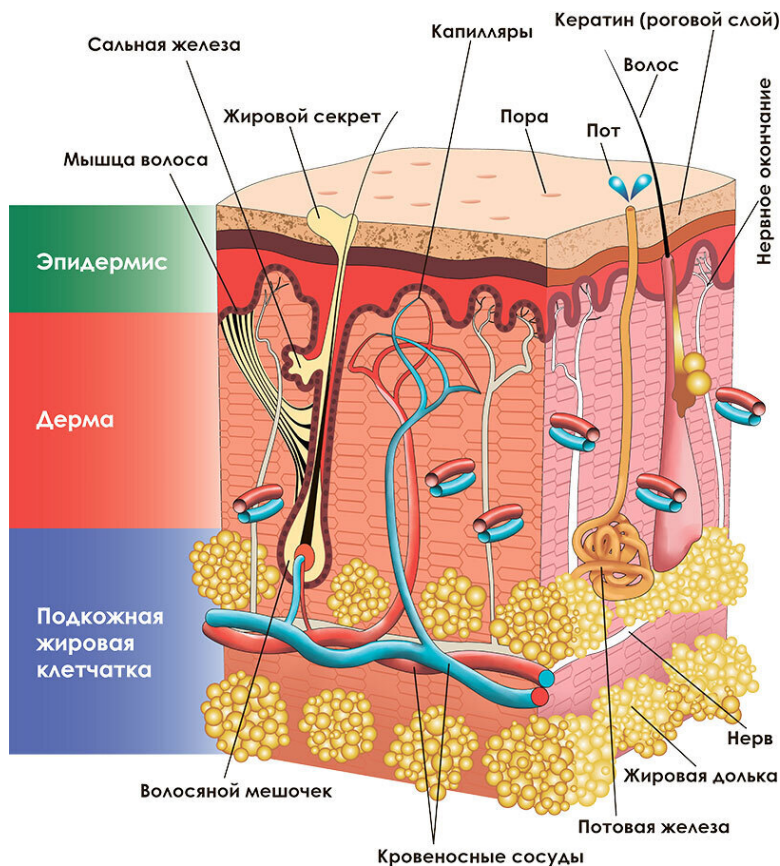
### 1.3.5. Покровная система и микробиота

Обычно под *покровной системой* подразумевают в основном кожу. Мы будем рассматривать эту систему в расширительном смысле, добавив к внешним покровам *внутренние покровы*, лежащие на границе внутренних органов, например кишечника, с окружающей средой. Здесь же мы рассмотрим *микробиоту* – *микроорганизмы*, живущие на внешних (кожа) и внутренних (стенки кишечника) поверхностях соприкосновения организма с окружающей средой.

*Начнем с кожи и волос*. Мы судим о возрасте именно по морщинам на коже и седине в волосах. То есть это органы с максимально заметным старением.

*Кожа* человека имеет площадь около 2 кв. м. Обычно, отчасти в шутку, говорят, что это самый большой орган чело-

века, подчеркивая, что это всё-таки орган. Почти 16 % веса тела приходится на кожу.



**Рис. 1.3.5. Структура кожи**

*Верхний слой кожи, эпидермис*<sup>68</sup>, состоит из 12–15 расположенных один над другим рядов (примерно 0,1 мм, толщина листа бумаги) омертвевших клеток, которые постоянно отшелушиваются и замещаются на новые клетки. Клетки эпидермиса заменяются полностью за 28 дней. Производством новых клеток заняты базальные клетки, находящиеся в нижнем ряду клеток эпидермиса. В нем отсутствуют сосуды. Иногда эпидермис утолщается, образуя мозоль.

Следующий слой кожи – *дерма, или дермис* (толщина – около 2 мм) – представляет собой соединительную ткань из эластина, коллагена и гиалуроновой кислоты, которые вырабатываются клетками дермы фибробластами. Здесь расположено множество капилляров, волосяных корней (*луковиц, фолликулов*), потовых и сальных желез. Вокруг каждого фолликула имеется нерв, и из него растет всего один волосок. Сальные железы производят жир – кожное сало, чтобы обеспечивать коже водонепроницаемость, потовые железы охлаждают кожу для поддержания постоянной температуры тела.

---

<sup>68</sup> «Эпидермис» в переводе «над (*эпи-*) кожей (*дерма*)».

# Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

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

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