

КСЕНИЯ ПАСЫНКОВА

АРМИЯ ИММУНИТЕТА

Как два триллиона
микроскопических
сущест в хранят
ваше здоровье,
и как им помочь



New Med

Ксения Пасынкова

**Армия иммунитета. Как два
триллиона микроскопических
существ хранят ваше
здоровье и как им помочь**

«Питер (Айлиб)»

2026

УДК 612.017.1
ББК 52.523.2519

Пасынкова К.

Армия иммунитета. Как два триллиона микроскопических существ хранят ваше здоровье и как им помочь / К. Пасынкова — «Питер (Айлиб)», 2026 — (New Med)

ISBN 978-5-4461-4652-9

Мы привыкли считать себя хозяевами планеты, но на самом деле люди — лишь 5% всей биомассы, крохотная верхушка в мире растений и микробов. Как мы выживаем в мире, где вирусов в три раза больше, чем людей? Ответ прост: внутри каждого из нас несет службу «килограммовая армия» — около 1,8 триллиона бойцов общей массой 1,2 кг. «Армия иммунитета» — это увлекательный путеводитель по вашему внутреннему Министерству обороны. Вы познакомитесь с «мусорными генералами» макрофагами, рядовыми штурмовиками нейтрофилами и элитным подразделением адаптивного иммунитета. Книга объясняет, почему «цветет» синяк, как связаны чистота и аллергия и почему ваша иммунная система — ключ к долголетию. Это честный и ироничный рассказ о том, как клетки умеют воевать без рук, проверять документы без глаз и защищать нас 24/7. В формате PDF A4 сохранен издательский макет книги.

УДК 612.017.1
ББК 52.523.2519

ISBN 978-5-4461-4652-9

© Пасынкова К., 2026
© Питер (Айлиб), 2026

Содержание

Благодарности	6
Введение. Битва длиной в жизнь	7
Глава 1. Подразделение врожденного иммунитета	12
Большие пожиратели	20
Местные участковые и дежурная охрана	21
Сто желудков	26
Пожрать – как задача всей жизни	29
Большой мусорщик	33
«Скелет и мышцы»	35
«Перед» и «зад» – по мере необходимости	38
Конец ознакомительного фрагмента.	40



Ксения Пасынкова
Армия иммунитета. Как два триллиона
микроскопических существ хранят
ваше здоровье и как им помочь

© ООО Издательство «Питер», 2026

Благодарности

Эта книга случилась во многом благодаря:

- научно-популярному сайту «Биомолекула» (**biomolecula.ru**) и конкурсу «Био/мол/текст», которые послужили надежной стартовой площадкой, формируя самый качественный «НАУЧ»;
- уютному информационно-развлекательному сообществу «Пикабу» (**pikabu.ru**), которое без стеснения давало оплеухи, формируя самый качественный «ПОП»;
- издательству «Питер», где сразу заметили эти «НАУЧ» и «ПОП» и дали возможность им увидеть свет;
- людям, которые в нужный момент поддерживали под руки, когда хотелось все послать к черту.

В общем, над этой книгой поработали тысячи человек, в том числе знаменитые ученые, память о которых навеки вплетена в науку.

Спасибо всем. Низкий поклон.

Введение. Битва длиною в жизнь

Знай врага и знай себя: тогда в тысяче битв не потерпишь поражения.
Сунь-цзы

Кто первым из живых существ приходит на ум при мысли о жизни на планете Земля?

Обычно люди вспоминают больших многоклеточных животных, например китов или слонов. Эти великолепные гиганты, безусловно, заслуживают, чтобы о них подумали в первую очередь, но на самом деле многоклеточные животные (к которым относимся и мы с вами) – это крохотная верхушка всей существующей жизни, какие-то жалкие 5 % от общей биомассы всех существ. И даже эти 5 % представлены в основном насекомыми, а не слонами... Кто же тогда остальные 95 %?

Как подсчитали ученые, основу жизни на планете (около 80 % от всей биомассы) составляют растения. Это не удивительно, поскольку растения являются основными поставщиками энергии, можно сказать «кормильцами». Благодаря фотосинтезу растительные клетки подключаются к бесплатному термоядерному реактору по имени Солнце и, преобразуя энергию излучения в биохимические связи, снабжают горючкой других живых существ на планете. Без фотосинтезирующих растений не было бы доступа к дешевой энергии, а значит, не было бы такого количества и разнообразия жизненных форм.

Но, несмотря на это, растения при слове «жизнь» люди вспоминают редко (и тут растениям стало обидно: у них же есть секвойя и баобаб!). Что уж тогда говорить про остальные 15 % живых существ, которые и вовсе невидимы для человека? О них при слове «жизнь» никто (кроме, пожалуй, докторов да биологов) и не подумает. Это микроскопические организмы – бактерии. Посмотрите внимательно на схему, представленную на рис. 1, – она наглядно отражает положение дел на планете.



Рис. 1. Биомасса живых существ на планете Земля, рассчитанная по массе фиксированного углерода, входящего в состав их клеток (тел). Это «сухой» углерод, без воды

Поразительно, но бактерий на Земле в три раза больше, чем всех-всех многоклеточных животных, вместе взятых! И это посчитали по массе сухого углерода, а не поштучно. По количеству штук бактерии и археи¹ уделывают всех с огромным отрывом и являются самыми многочисленными существами.

Но раз уж зашла речь о микроорганизмах, то на Земле много не только бактерий. Если посчитать биомассу всех вирусов и сравнить ее с биомассой живущих сейчас людей (рис. 2), то вирусы будут весить в три раза больше всего человечества! При том что среднестатистический вирус раз в сто меньше среднестатистической бактерии, а нас, людей, уже больше 8 миллиардов.

В общем, если инопланетяне когда-нибудь посетят Землю, они наверняка назовут ее планетой микробов и растений (рис. 3), потому что остальные представители жизни как-то невнятно малочисленны. Без обид.

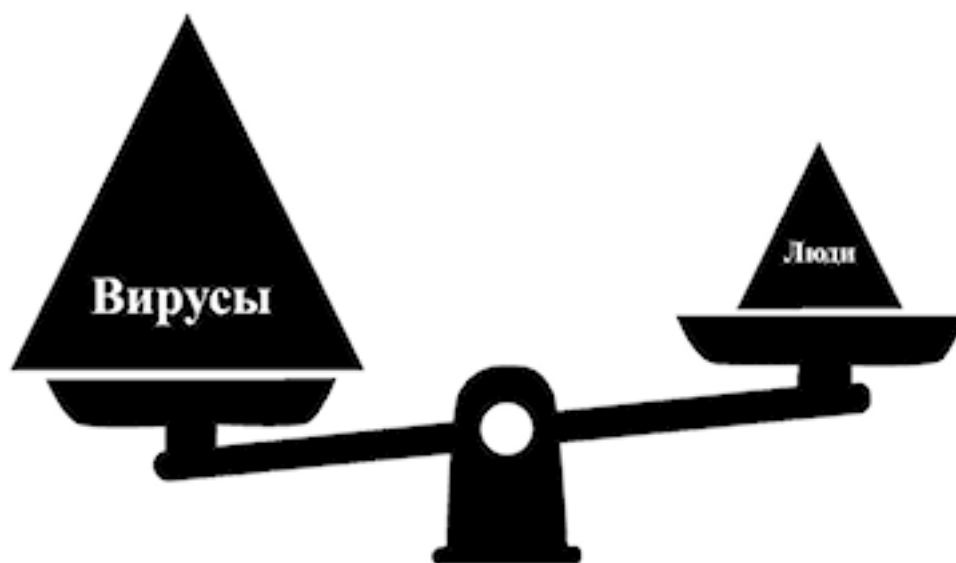


Рис. 2. Биомасса всех вирусных частиц на планете и всех людей

Микроорганизмы (не только бактерии с вирусами, но и простейшие) действительно царствуют на планете. Они повсюду. Куда ни плюнь – там на ПМЖ пара сотен (тысяч?) микробов. Эти малявки не только заполонили сушу, воздух, воду, но и заселили невыносимо экстремальные места на планете: например, подводные гейзеры (как кому-то вообще пришло в голову жить в кипятке?).

¹ Археи – это такие одноклеточные организмы, не имеющие ядра. От других организмов их отличает уникальное строение мембран и независимое эволюционное развитие жгутиков. Живучи в различных средах, даже в экстремальных условиях.



Рис. 3. Возможно, пришельцы нас и не заметят

Мало того: микробы обитают и на всех поверхностях других живых организмов. К слову, если вы забудете о приличиях и все-таки плюнете, то фактически попадете микробами в микробов: в вашей слюне их тоже полно. Только у вас они, скажем так, не дикие, а немножко одомашненные. Рисунок 4 – попытка пофантазировать, как могла бы выглядеть одомашненная бактерия в макромире.



Рис. 4. Одомашненная бактерия. Фантазия автора

Справедливости ради нужно заметить, что большинство микробов для человека безобидны и жить особо не мешают. Многие скромно окисляют железо или серу (то, что больше никто не ест, хе-хе) и живут глубоко в земле, как порядочные интроверты. Но существует

также немало микроорганизмов, которые охотятся за органикой и готовы выпотрошить вкусное живое существо клетка за клеткой. Какие бы меры нами ни предпринимались, даже в стерильных условиях операционной мы находимся на территории опасного врага. Не говоря уже о собственной квартире или – о ужас! – об общественном транспорте.

Количество микроорганизмов невозможно подсчитать визуально или вручную, но это не значит, что это невозможно в принципе. Самый простой метод подсчета количества бактерий в воздухе – технология оседания по Коху. Берется чашка Петри с питательной средой, оставляется в помещении открытой на пять минут и затем отправляется в термостат. В таких курортных для бактерий условиях каждая осевшая из воздуха активная клетка начинает делиться и образовывать колонию. Подсчет колоний выявляет так называемое микробное число: количество колониеобразующих единиц (КОЕ) на кубический сантиметр или метр. Согласно Сан-ПиН, чистым для жилых помещений считается воздух, в котором левитирует до 2000 микроорганизмов в 1 м^3 , слабозагрязненным – 4000–7000, а сильнозагрязненным – выше 7000. А для операционных и других стерильных помещений нормальным считается значение до 500 КОЕ/ м^3 : то есть в воздухе операционных все равно в норме присутствуют бактерии.

Как же мы выживаем в мире, в котором биомасса вирусов в три раза больше биомассы человечества, а про немыслимое количество бактерий вокруг и говорить страшно?

Как-как... Сражаемся 24/7, как же еще. Вернее, сражаемся не мы целиком, а наша внутренняя армия, которая состоит из удивительных существ. Эти существа способны есть без рта, воевать без рук, проверять документы без глаз и думать без мозга. Правда, этих странных воинов без микроскопа разглядеть не получится, но численность их впечатляет: около 1 800 000 000 000 бойцов на одного человека! (1,8 триллиона, если кому-то лень считать нули). А общая масса этого внутреннего «войска» получается в среднем около 1,2 килограмма [2].

В общем, пока вы пьете чай, работаете или читаете эту книгу – примерно килограмм вас несет боевую службу: либо охраняет границы, либо уничтожает неприятеля. Для вашего организма жизнь – это не увеселительная прогулка, даже когда организм отдыхает на пляже (недаром же целый килограмм вашей тушки выделили на охрану). Но, справедливости ради, и для микробов ваш организм далеко не Диснейленд.

Представьте на секунду патогенную бактерию, которая пробралась внутрь вашей крепости: например, вы ее вдохнули в автобусе или съели с немытым яблоком. Это милое одноклеточное уже предвкушает переезд в замечательное местечко, в котором можно наплодить колонию клонов себя любимой: многоклеточный организм – это идеальный термостат, в нем всегда тепло, влажно и много еды. Все как в рекламном буклете лучшего бактериального курорта! Но бонусом к вольготной жизни прилагаются кое-какие неприятности. Например, клетки-пожиратели, которые проглатывают нелегалов и переваривают их вместе со шляпой и чемоданом. Даже если бактерии повезет не влипнуть в объятия этих чудищ, они мастерски умеют пользоваться оружием ближнего боя: маленький химический взрыв никого не оставит равнодушным, даже туфли не уцелеют. А стоит патогену привлечь к себе систему самонаводящегося оружия – то и вовсе беда. Куда ни прячься, а молекулярный снаряд прицепится к твоей шкурке и превратит тебя в дуршлаг.

Однако несметное количество храбрых воинов и мощь их вооружения в защите организма от патогенов вовсе не главное. А что главное? Ответ найдется в этой книге. В ваших руках окно в параллельное измерение, живущее своей сложной, интересной и опасной жизнью. Тут вы узнаете многое о тактиках и стратегиях боев, которые ведутся в вашем организме. Познакомитесь с мусорными генералами и клетками-коррупционерами. Найдете ответ, почему цветет синяк, кто поднимает в организме температуру; разберетесь в причинах появления опухолей; поймете, как связаны чистота и аллергии; какую роль играет иммунитет в старении организма. И даже (если не знали) разберетесь, наконец, что такое это загадочное СОЭ в анализах крови.

Добро пожаловать в свой прекрасный (и ужасный) внутренний мир (рис. 5).



Рис. 5. Иммунные клетки и бактерия (фантазия автора)

Немного инструкций

1. Материал в этой книге изложен простым и доступным языком с минимумом научных терминов, но они все равно будут. Рекомендуется их все-таки запоминать, и в этом есть две пользы. Первая: можно при случае блеснуть знаниями в кругу друзей. Вторая: проще будет понять научные исследования, к которым вы обратитесь в дальнейшем при проверке информации. Зачем вдруг вам может понадобиться читать научные исследования? Ну хотя бы для того, чтобы не верить всему на слово: здоровье – тема спекулятивная, полная мошенников и «гуру», которые любят украсить лапшой чьи-нибудь уши.

2. Образное изложение в книге не стоит воспринимать слишком буквально: это всего лишь приемы для лучшего восприятия материала. Очеловечивание клеток используется в тех же целях: надеюсь, что нарисованные в шутку глаза и пушки у клеток не вызовут вопросов. Постоянно держите в уме, что все сложнее, чем представлено в этой книге, а упрощение всегда расширяет пространство для неточностей. Если возникают вопросы – научные источники, на базе которых написана эта книга, найдете на последних страницах.

3. Углубленная информация будет представлена во врезках «**Для шибко любознательных**» – ее читать не обязательно, общий смысл не пострадает. А упрощенные выводы будут во врезках «**Для ЛЛ**» (для Лиги лени). Их, пожалуй, стоит читать всем в качестве краткого вывода. А самым ленивым при этом можно даже не вникать в книгу полностью.

Глава 1. Подразделение врожденного иммунитета

Первые живые существа на планете Земля появились около 3,8 миллиарда лет назад. Целых три четверти этого огромного срока жизнь представляли одноклеточные микроорганизмы – ни слонов, ни баобабов. Ни даже мышей. Только клетки, клетки, клетки...

Клетка – странное название для единицы жизни, не правда ли (рис. 6)?

Но Роберт Гук не виноват: с помощью усовершенствованного им микроскопа он наблюдал структуру растений, которая действительно чем-то напоминает клетки. Ученый дал этим структурам название «cell», что с английского также переводится как «ячейка» или «сота». И уже при переводе получилась «клетка».

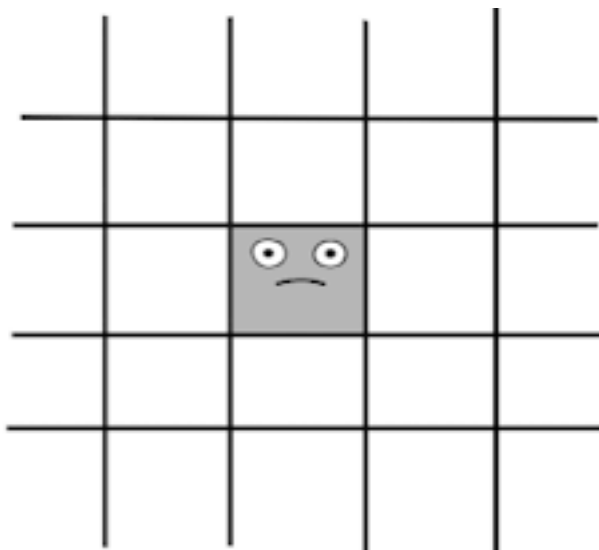


Рис. 6. Клетка – название, не будоражащее воображение. Зато запомнить легко!

Можно сколь угодно возмущаться, что клетка не самое подходящее название для единицы жизни, но так уж исторически сложилось, потому с этим придется мириться. Жаль лишь, что из-за унылого термина у многих уже в школьные годы испарилось желание узнать, что клетки на самом деле фантастически разнообразны. Вы только

полюбуйтесь, какие невероятно красивые формы они могут принимать (рис. 7, 8).

Клетки – не просто ячейки или вместилища. Это сложнейшие по своей организации существа, способные мастерски химичить, талантливо строить, передвигаться, реагировать, чувствовать, общаться друг с другом и даже... принимать решения.

Однако мы пока не станем залезать в дебри клеточного разнообразия, давайте для начала о том, что все клетки объединяет.

В первую очередь все клетки являются единицами жизни. Гук, который в 1665 году открыл клетку и дал ей название, не понял всю важность этих ячеек. Прошло почти двести лет, пока ученые окончательно определили клетку как основной элемент бытия всех организмов, а последующие исследования подтвердили единство жизни: основные биохимические механизмы оказались похожи во всех клетках, как бы внешне они ни различались.

Итак, поехали!

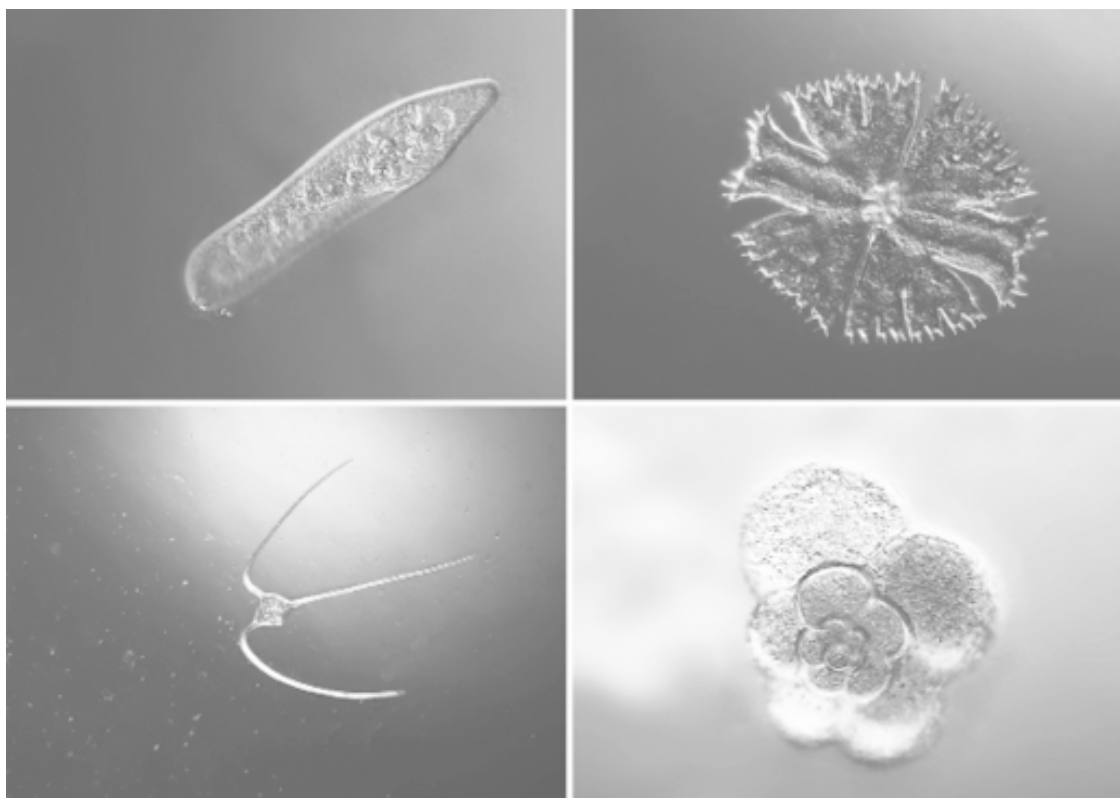


Рис. 7. Фотографии одноклеточных микроорганизмов (увеличение – приблизительно в 200 раз): *слева направо*: инфузория-туфелька (*Paramecium caudatum*), одноклеточная водоросль рода Микрастериас (*Micrasterias*), панцирный жгутиконосец рода Церациум (*Ceratomyxa*), фораминифера (*Foraminifera*)

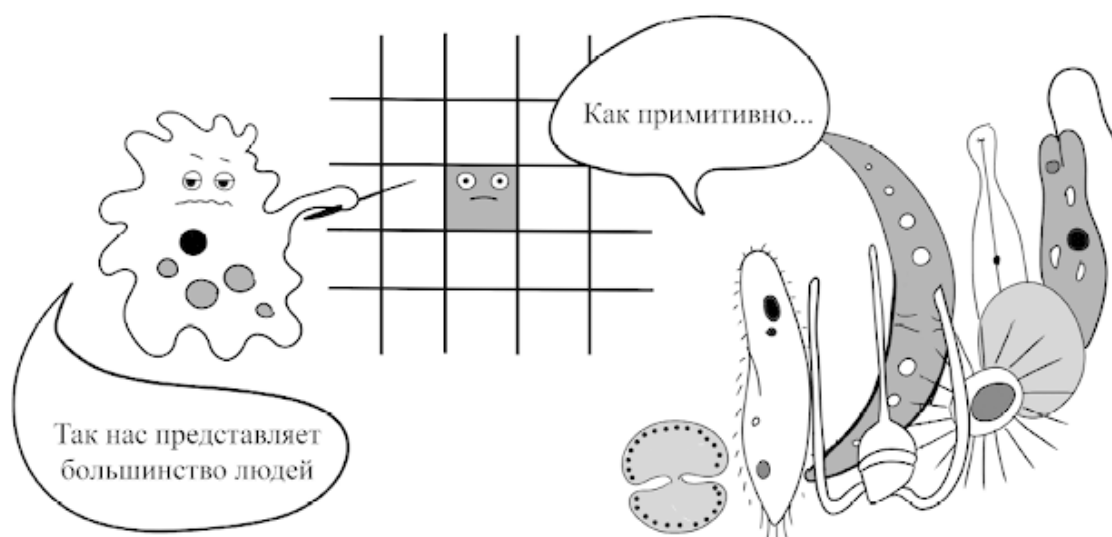


Рис. 8. Мы не так представляем себе клетку... Это лишь трудности перевода

По одному из определений, клетка – это живая элементарная система, которая состоит из генетического материала и цитоплазмы, ограниченная активной мембраной и способная к обмену с окружающей средой.

Если то, что вы сейчас прочли, показалось бессмысленным шумом, давайте разбираться подробнее – на самом деле все довольно просто. Любая порядочная клетка в упрощенном

понимании должна иметь как минимум **три** компонента: оболочку (мембрану), внутреннюю жидкую среду (цитоплазму) и набор информации (гены) (рис. 9).



Рис. 9. Ключевые компоненты клетки

Почему именно эти три компонента самые важные?

Без оболочки, очевидно, – ни туда, ни сюда. Если ты жидкий, то без барьеров растечешься в лужу. А если ты жидкий да еще и живешь в жидкой среде – растворишься в потоке, не успев сказать «ой». Оболочка нужна, не поспоришь: но почему ее не назвать просто оболочка, выдумали какую-то мембрану?

Лезем за определением:



Мембрана – перегородка, разделяющая две жидкие (или газообразные) фазы, обеспечивающая под действием движущей силы селективный перенос компонентов этих фаз.

Простыми словами: оболочка клетки – барьер, но не сплошной. Она довольно хитро устроена и выборочно проницаема: молекулы некоторых веществ все-таки могут проходить сквозь нее туда-сюда, словно сквозь фильтр. И тут все сходится с определением клетки: если

тебе необходимо не только ограничивать себя от среды, но и как-то взаимодействовать с ней, твоя оболочка и не должна быть сплошной. Сквозь клеточную мембрану довольно легко проходят молекулы O_2 (кислород) и CO_2 (углекислый газ). Благодаря этому клетка может «дышать» хоть зад... гм, хоть всей своей поверхностью. И для этого не нужно никаких дополнительных устройств, все случается типа само по себе (на самом деле по законам физики).

Для шибко любознательных

Это «само по себе» в данном случае является необратимым физическим процессом статистической природы, который называется диффузия. Диффузия (лат. *diffusio* – «распространение», «рассеивание») – процесс перемещения молекул или атомов вещества из области с высокой концентрацией в область с низкой. Это приводит к самопроизвольному выравниванию концентраций по всему занимаемому объему. Вспоминаем школьную физику: благодаря диффузии аромат духов распределяется по всему помещению, а суп становится равномерно соленым. Клетки используют не только диффузию, но и осмос: это выравнивание концентраций в растворах с помощью самопроизвольного передвижения молекул воды в сторону большей концентрации какого-либо вещества.

Помимо самопроизвольных процессов, сквозь оболочку современной клетки происходит также и регулируемый обмен. Возможен он благодаря специальным порам, каналам или молекулярным насосам (но это уже более сложные навороты, которые появились в процессе эволюции).

В общем, в клетку что-то постоянно входит, а что-то выходит.

С мембраной более-менее понятно, давайте про цитоплазму. Если у тебя есть оболочка, очевидно, есть и то, что ты не хочешь потерять. В случае клетки это водный раствор определенных веществ (ионов и молекул). Этот внутренний раствор по составу всегда отличается от того, в котором клетка обитает (например, от морской или пресной воды), и этим он ценен. Внутренний раствор создает особую, регулируемую среду внутри клетки и обеспечивает ей возможность поддерживать определенную стабильность в сумасшедшем изменчивом мире. Но это еще не все: различие биохимического состава внутри и снаружи (в совокупности с избирательно проницаемой мембраной!) дает возможность клетке использовать весьма крутые законы химии и физики – например, накапливать на своей поверхности электрический заряд. Каждая живая клетка – микроскопический конденсатор.

Для шибко любознательных

Распространено мнение, что электрически активными клетками являются исключительно нейроны (нервные клетки). Но это не совсем так: каждая живая клетка – это система, которая функционирует, помимо всего прочего, благодаря биоэлектричеству. В 1940-х годах биохимик А. Сент-Дьёрдьи пришел к выводу, что феномен живого нельзя объяснить просто наличием и взаимодействием каких-то химических веществ. Необходимо также, чтобы эти вещества находились в определенном электрическом состоянии. Согласно этой точке зрения, живые и мертвые клетки различаются по своему биоэлектрическому, а не только биохимическому статусу. В возникновении биологических ионных токов участвуют положительно

заряженные ионы калия и натрия, отрицательно заряженные ионы хлора, а саму клетку можно сравнить с конденсатором, диэлектрик в котором представлен в виде мембраны.

Теперь про главное: геном. Зачем пузырю с жижей информация?

Дык без информации жизнь – не жизнь. Собственно, сам жизненный процесс можно определить как **реализацию закодированной информации**. Ну или как действие по инструкции, если хотите. Ведущая на сегодняшний день теория мира РНК накапливает все больше экспериментальных доказательств того, что преджизнь началась вовсе не с появления клетки, а гораздо раньше: с автокаталитических² химических реакций и синтеза информационных молекул – РНК (а после ДНК), способных к созданию собственных копий. То есть можно сказать, что все началось не с живого существа, а с появления информации, которая стала умножать и распространять саму себя. Только тогда это была еще не упорядоченная информация, а просто молекулы, способные к самоорганизации и самокопированию, которые вступили на путь эволюции и «отбора к осмыслению». А уже в процессе биохимической эволюции молекулы стали носителями информации.

Кто-то задаст вопрос: как молекулы могут стать носителями информации? Да запросто! Носителем информации может стать любой предмет. Главное, чтобы было нечто, что может эту информацию расшифровать (в случае генетической информации – реализовать). Вы сами можете сделать носителем информации хоть камни, хоть узелки на веревочке. Но с одним условием: если тот, кому это послание предназначено, знает, как раскодировать символы, – иными словами, может понять, что вы этими булыжниками хотели сказать.

Современная клетка – это уже сильно усложненная система. А современный геном – не просто самокопирующиеся молекулы, а целый административный отдел со сводом правил и инструкций на все случаи клеточной жизни, который состоит из несколько томов тщательно упорядоченной информации. За счет чтения и реализации информации, заключенной в геноме, клетка постоянно что-то химичит, реагирует на стимулы извне, изменения среды, производит продукты, которые нужны для жизнедеятельности и копирует саму себя. В генетические инструкции входят планы-чертежи по производству тех или иных молекулярных устройств. В общем, без информации клетка – ни к чему не способный пузырь с жидкостью, который скоро распадется, так как не умеет себя обслуживать, сохранять и копировать.

Благодаря мембране, цитоплазме и генам каждая клетка – самостоятельный, самовоспроизводящийся организм. Она умеет добывать пищу, противостоять среде, размножаться. Что еще для счастья надо? Не удивительно, что жизнь на протяжении трех четвертей своего существования на планете была одноклеточной: всем и так было норм.

Однако тут стоит признать, что существование одноклеточных не было полностью обособленным и эгоистичным: помимо свободноживущих одиночников, многие клетки отыскивали выгоду в совместном проживании. Они стали образовывать колонии из собственных клонов (клетки не покидали друг друга при делении, а оставались в общей кучке) или собирались во взаимовыгодные сообщества из разных видов (бактериальные маты, биопленки). Так что не стоит слушать тех, кто истолковывает эволюцию как «выживает сильнейший» прямо в лоб. Выживает не самый сильный, а наиболее приспособленный к создавшимся условиям. Если кооперация и совместное проживание помогают приспособливаться – то почему бы и да!

Взгляните на фотографию (рис. 10) – на ней показаны разнообразные по формам колонии планктонных диатомовых водорослей. Одна из причин, почему эти одноклеточные создают колонии, весьма банальна: такой крупный агрегат сложнее проглотить микроскопическим хищникам (например, ветвистоусым или веслоногим рачкам).

² Автокатализ – химическая реакция, скорость которой увеличивается по мере накопления в системе ее продуктов (или промежуточных веществ).

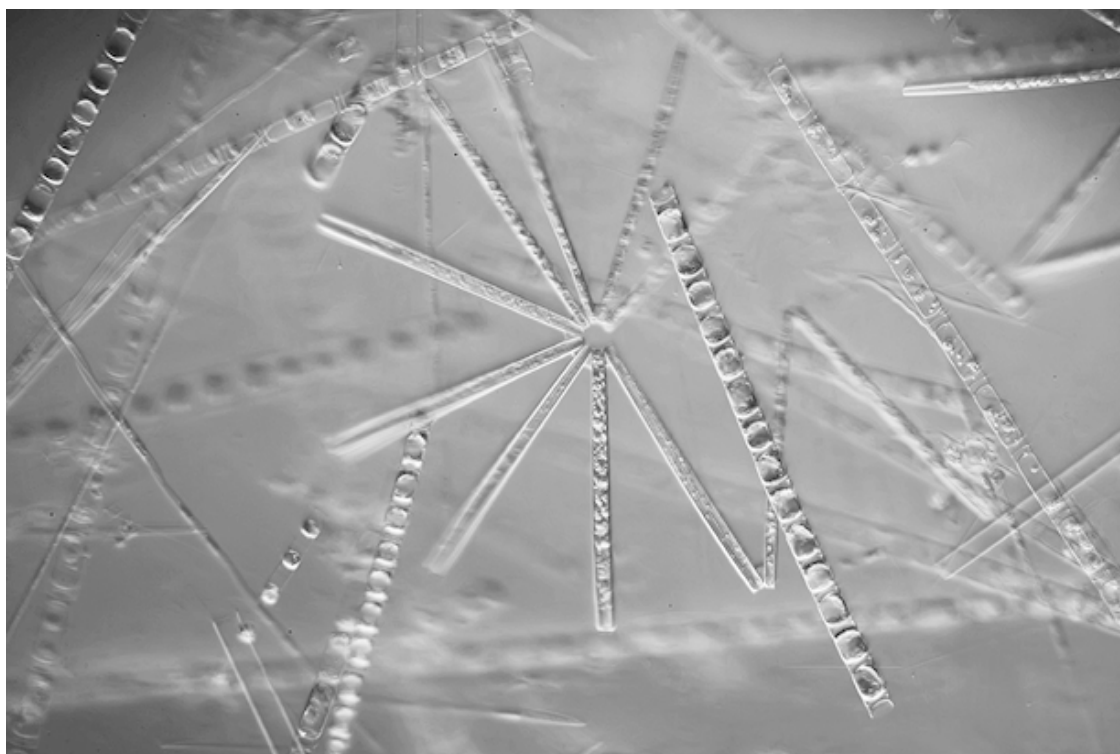


Рис. 10. Фото причудливых колоний планктонных одноклеточных диатомовых водорослей (увеличение – примерно в 200 раз)

Для ЛЛ

Колонии одноклеточные создают для того, чтобы хищник подавился.

Но, несмотря на явное стремление одноклеточных к объединению и сотрудничеству, принципиально новое устройство жизни – многоклеточность – появилось всего 800 миллионов лет назад. Колонии клонов, очевидно, были демOVERсией будущих многоклеточных гигантов, но как именно произошел переход, сделавший кучку клеток единым организмом, точно пока неизвестно. Возможно, главным прорывом стало изобретение общепита: общая кормежка в колонии позволила части клонов отодвинуть добычу пропитания на второй план и привела к разделению обязанностей. Кто-то взял на себя пищевое снабжение и стал работать в столовке, кто-то организовал этой столовке охрану, а кто-то обеспечил всему этому предприятию передвижение в пространстве.

Для шибко любознательных

Также появлению многоклеточности способствовало совершенствование упорядоченности. У многоклеточных не так давно было найдено одно изменение в генах, которое позволяет делящимся клеткам ориентироваться относительно соседних. Благодаря этому клетки соединяются не как попало, а образуют высокоупорядоченные конструкции самых разных форм [3]. У одноклеточных такой генетической особенности нет.

Долго ли, коротко ли, со временем клетки многоклеточных организмов претерпели такие глубокие специализации, что стали почти деталями единого целого. Если в колонии клоны остаются полностью независимыми единицами, которые могут в любой момент собрать вещи и свалить в закат, то в организме это становилось сделать все более проблематично – клетки не могли уже обойтись друг без друга. Но тут кроется большая возможность упустить нечто очень важное!

Легче всего представить многоклеточный организм как систему из мельчайших деталей-шестеренок или микросхем. Но клетка многоклеточного организма – это не только часть чего-то. Это также по-прежнему полноценное живое существо. Организм в организме. Или, если хотите, существо в существе. Еще в 1890-х годах немецкий физиолог Теодор Шванн догадался, что клетки тел животных и растений в каком-то смысле отдельные единицы, которые ведут собственную жизнь. То есть вы состоите не из деталей, а из триллионов микросуществ. Не верите? Если вы извлечете свою клетку и просто бросите на произвол судьбы, она, конечно, погибнет. Но если создадите для нее благоприятные условия вне вас – она будет преспокойно жить дальше. В таком случае вы ей в общем-то особо и не нужны.

Конечно, это странно – что часть тебя может жить вне тебя. И как-то даже жутковато. Но именно это свойство клеток сейчас повсеместно используется в науке: большинство современных экспериментов проводятся не над животными или людьми, а над их живыми клетками, которые специально для этого разводят (культивируют) в лабораторных условиях.

В общем, каждая ваша клетка – отдельное живое существо. Просто из-за глубокой специализации клетки многоклеточных стали весьма прихотливы: для жизни им необходимо «чувство соседства» (контакт с сородичами) и привычные условия: особое питание, определенные сигналы, стабильная температура, удаление продуктов жизнедеятельности и т. д. Можно сказать, что клетки многоклеточного – большие неженки, которые не выносят одиночества. Это вам не инфузория, которая все умеет делать сама, невзирая на условия: и охотиться, и убежать, и драться, и размножаться (мы их сравнили на рис. 11). Потому разводить неприхотливых инфузорий может каждый школьник, а культивирование клеток и тканей многоклеточных – дело весьма непростое, требующее кучи специального оборудования для имитации условий организма. А также заботы и внимания.



Рис. 11. Клетка многоклеточного организма и одноклеточная инфузория

И все же, несмотря на то что ваш организм един и клетки его лишены полной автономности, они не детали и не части, а единицы жизни. Существа. В чем вы еще не раз убедитесь.

Для ЛЛ

1. Чтобы что-то стало единицей жизни, ему нужна оболочка, жидкий внутренний мир и список инструкций, как жить.
2. Ваши клетки – не шестеренки, а живые существа, которые требуют уважения.

Большие пожиратели

Многоклеточный организм – особая форма организации клеточных клонов, которые делили между собой обязанности, да так сильно в процессе труда изменились, что уже не могут друг без друга. Но эта потеря свободы оправдана: специализация позволила в разы усложнить функции системы в целом. Стратегии строительства, энергообеспечения, охраны и добычи ресурсов совершенствовались и стали гораздо эффективней. За примером далеко ходить не надо: ваша килограммовая армия – это не просто орда вояк с колотушками. В клеточном войске соблюдается строгая иерархия: есть многоступенчатый командующий состав и рядовые разных направлений. В армию также входят пограничники, местная полиция и даже паспортный контроль. Да, внутри вас работает таможня! Но давайте по порядку.

Знакомство с килограммовой армией однозначно стоит начать с макрофагов. Во-первых, потому что эти клетки – первая линия обороны вашей тушки. Именно они грудью (вернее, мембраной с цитоплазмой) сдерживают прорвавшегося внутрь врага, пока не подтянутся остальные войска иммунитета. А во-вторых, название у макрофагов впечатляющее: *Macros phagos* переводится с греческого как БОЛЬШОЙ ПОЖИРАТЕЛЬ.

У-у-у-у... Внушает уважение, однозначно.

Но... На первый взгляд большой пожиратель вас не впечатлит. Он не такой уж и большой. Чтобы его рассмотреть, понадобится как минимум профессиональный световой микроскоп и увеличение в 1000 раз. И даже в световой микроскоп он выглядит так, будто кто-то плюнул. Короче, для вас большой пожиратель – микроскопическая клякса. Но для клеток вашего организма это уважаемый амебообразный гигант и герой с кучей медалей, способный на многое. В общем, все относительно, тем более когда речь заходит о размерах.

Пожиратели в сравнении с остальными клетками действительно большие. Количественно они представляют всего 10 % от всего иммунного войска, но при этом качественно составляют 50 % от общей массы [2]. Именно потому, что они толстые (зачеркнуто) очень крупные. Бывают такие здоровенные, что человек с острым зрением может увидеть макрофага даже без помощи микроскопа (как крохотную едва заметную точку, конечно, но все же!). Выходит, по массе половина вашей внутренней армии – это макрофаги. Их в вас около половины килограмма, и это можно посчитать третьей причиной, почему стоит начать именно с них.

Помимо указания габаритов, название «большой пожиратель» как бы тонко намекает, что эти клетки много жрут. А что жрут? Да всякое. И что, и кого. Все, что плохо лежит или не туда бежит. И это не хобби, а их главная профессиональная обязанность – то бишь Р-А-Б-О-Т-А. Кто-то, возможно, сейчас даже позавидовал: хороша работенка, мне бы платили за то, что я плотно покушал! Но... не спешите с выводами.

Местные участковые и дежурная охрана

Сразу нужно отметить, что макрофаги бывают разные, порой они очень не похожи друг на друга. А в общем их все можно разделить на резидентных (постоянных) и пришлых.

Резидентные макрофаги – это пожиратели с постоянной пропиской. Они заселяют различные органы еще во время формирования зародыша и становятся их почетной частью (в печени это клетки Купфера, в мозге – клетки микроглии и т. д.). Такие макрофаги занимают неподвижное положение среди мирных рабочих клеток, широко раскинув во все стороны свои ложноножки.

Кстати, термин «ложноножка» сейчас используется в науке очень редко. Вместо него употребляется модное слово «псевдоподия». По-гречески означает абсолютно то же самое: «псевдо» – ложный, а «подия» – что-то похожее на ногу. Давайте и мы станем пользоваться новым термином, хоть ложноножки, конечно, со школы роднее.



Псевдоподии – это выросты цитоплазмы клетки разной формы и назначения. Бывают плоскими, толстыми, тонкими и даже ветвящимися (рис. 12). Одни нужны клетке для передвижения, другие – для прикрепления или захвата чего-либо.

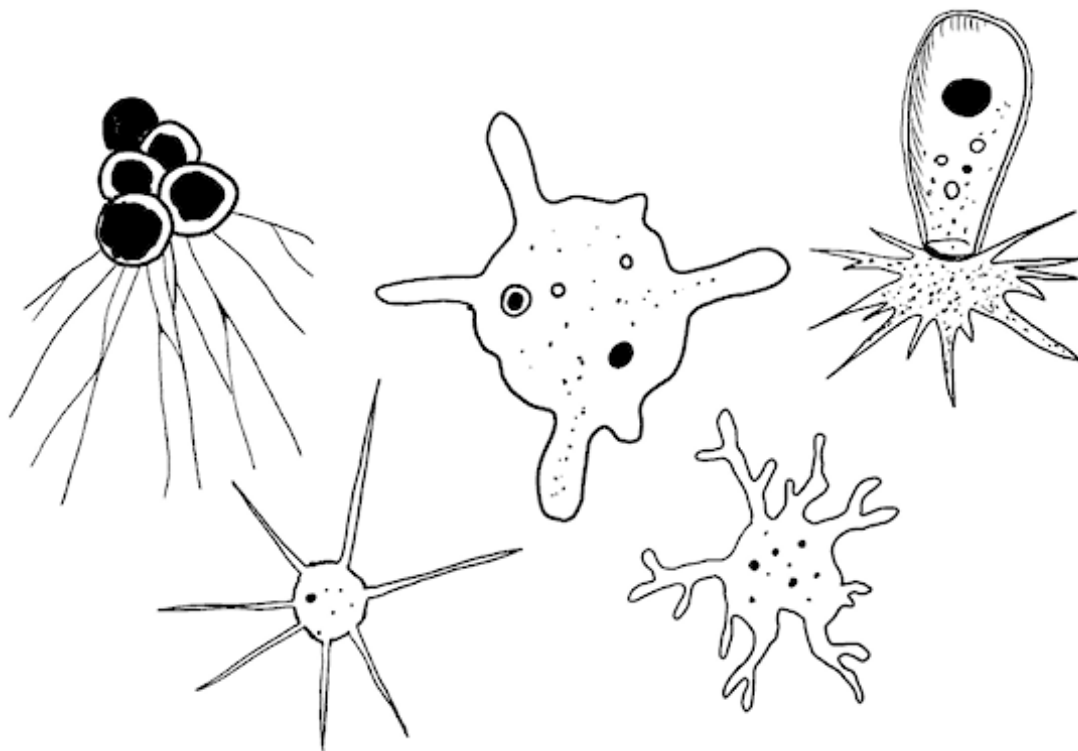


Рис. 12. Разнообразие псевдоподий у одноклеточных организмов

Псевдоподии резидентных макрофагов густые, раскидистые и чем-то напоминают ветки дерева, которые торчат во все стороны. Из-за этого таких пожирателей называют также дендритными клетками (от *греч.* *dendron* – «дерево»). Ветвистыми псевдоногами ползать неудобно, но они нужны для иных целей. Выросты образуют ловчую сеть, с помощью которой можно отловить нарушителей порядка: несанкционированные вещества или незаконных мигрантов. Раскинул сеть – и ползать уже никуда не надо. Псевдоноги тут выполняют функцию псевдорук, ну да ладно, придирается не будем.

Дендритный макрофаг со своей сетью – что-то вроде местного участкового, который следит за обстановкой, не покидая своей конторы. Работать дендритный макрофаг полицейской конторой может годами. Кстати, для клетки это немыслимо долгий срок службы, если учесть, что многие представители многоклеточного организма долго не живут: есть работники, срок жизни которых всего неделя или даже три дня.

Помимо долгоживущих макрофагов-участковых, в организме несут службу приходящие макрофаги, которых часто называют тканевыми. Тканевые – это не потому, что они тряпки. А потому, что, в отличие от участковых, работают не в органах, а в соединительных тканях.

Напрашивается пояснение. Ткань у нас в быту – это плоское переплетение нитей. Хотелось бы сказать, что и в биологии ткань тоже нечто похожее... но нет. Посудите сами: в организме ткани бывают твердые (кость), желеобразные (хрящ), волокнистые (связки, сухожилия) и даже... жидкие! Понимаю, что это уж не в какие ворота, но кровь тоже относится к тканям. Внезапно.

Как так вышло? Во всем, как обычно, виновато определение термина. Ткани в биологии – это какие-то определенные виды клеток, которые связаны между собой внеклеточным матриксом и образуют единую конструкцию. Матрикс – опорная и соединяющая клетки структура, которая действительно может напоминать ткань сплетениями разнообразных белковых волокон. Но также может быть и желеобразной, что на ткань в нашем понимании уже совсем не похоже. Но тут главное, чтобы клетки между собой с помощью матрикса **соединялись** – то есть могли «общаться» и делиться ресурсами. В крови соединяющей основой является плазма,

и не имеет значения, что она жидкая, раз выполняет указанные функции. В общем, смиритесь с тем, что в биологии ткань может быть самой разной, лишь бы ее можно было впихнуть в рамки определения.

Минуточку! Усложним задачу еще пуще: ткани в организме можно разделить на типы. Есть нервная ткань, мышечная ткань, эпителиальная ткань – в этих типах тканей преобладают клетки, а матрикса совсем немного. Но также существует несколько видов соединительной ткани: в них основной частью выступают не клетки, а матрикс. Взгляните на рис. 13.

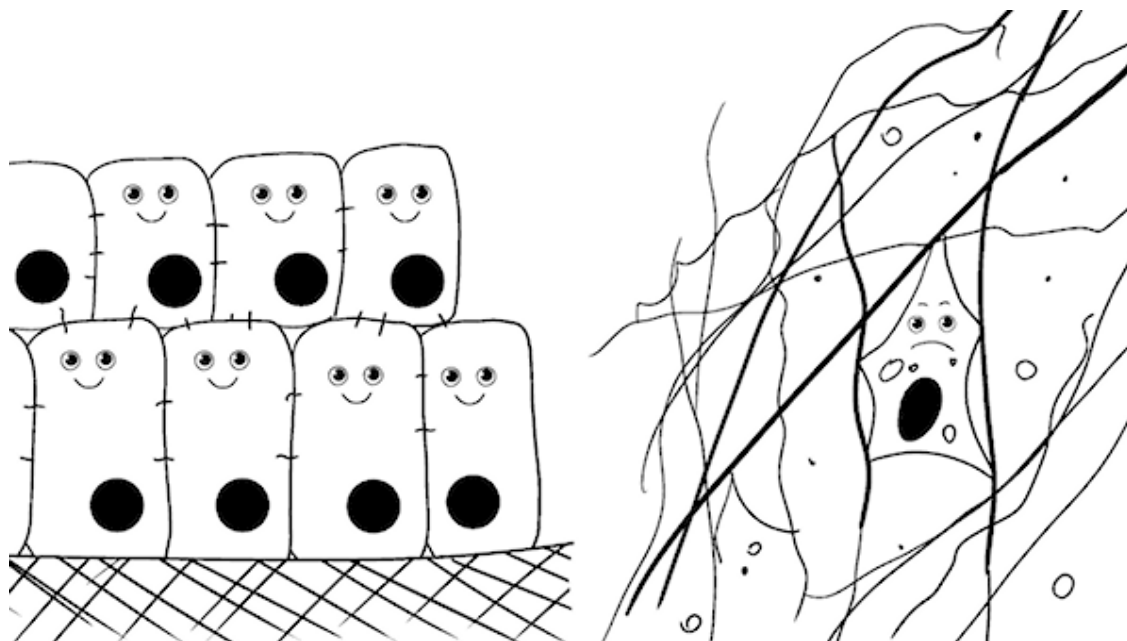


Рис. 13. Эпителиальная ткань представлена преимущественно клетками, соединительная – матриксом

Можно представить для наглядности как на рис. 14: если эпителиальная, нервная или мышечная ткань – это плотно населенный мегаполис многоэтажек, то соединительная ткань – что-то типа сельской местности: много пространства, а жилые домики находятся на приличном расстоянии друг от друга.



Рис. 14. Эпителиальная и соединительная ткань (фантазия автора)

Разные типы тканей помогают сформировать более сложные структуры – органы. Обычно основную рабочую часть органа, в которой много клеток (город), охраняют резидентные дендритные макрофаги. А вспомогательные структуры (поселок) – тканевые.

Тканевые макрофаги живут недолго, всего от пары недель до нескольких месяцев. Но зато они отлично умеют ползать и ведут подвижное дежурство – пространства в сельской местности гораздо больше, чем в городе, так что приходится побегать.

Тканевой макрофаг, в отличие от участкового, который маскируется под раскидистый куст, выглядит как обычная амeba. Ну или как амeba на дежурстве (рис. 15).

Кажется, с размерами, формой и местами обитания макрофагов разобрались. Теперь давайте остановимся немного подробнее на функции «пожрать». Если ты пожиратель, то, очевидно, должен иметь и соответствующий рабочий инвентарь: некое подобие органа пищеварения. Например, что-то вроде желудка.

Действительно, некое подобие «желудка» у каждого уважающего себя макрофага имеется. И желудок, кстати, у него не один. А несколько...

...сотен.

Для ЛЛ

Пожиратели бывают постоянными и пришлыми. Постоянные ведут сидячее дежурство в городской черте, пришлым приходится побегать по сельской местности.

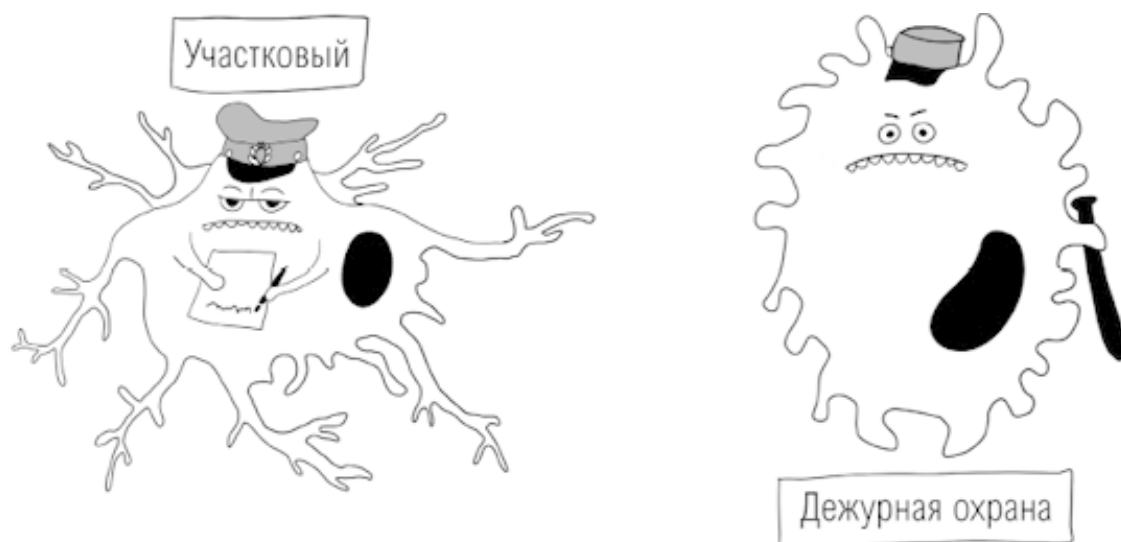


Рис. 15. Дендритная клетка (городской участковый) и тканевой макрофаг (сельский охранник)

Сто желудков

Если сильно обобщить, то между внутренней организацией человека и организацией клетки можно провести множество аналогий. И тут нет ничего удивительного: каждому организму (амеба он или венец творения) необходимо выполнять одинаковые, обязательные для всех живых существ функции. Одна из которых – питание.

Для процесса питания (то есть получения субстрата для извлечения энергии и строительства) у человека образовалась сложная пищеварительная система: желудок с соляной кислотой и кишечник с несколькими отделами. В желудке и тонком кишечнике синтезируются расщепляющие пищу ферменты.

Для чего нужны пищеварительные ферменты? Из сосиски или макарон, которые вы съели, сложно выжать энергию или что-то путное в организме построить. Потому нужны вещества, которые разлагают сложную органику пищи до более простой. Это как конструктор типа «Лего»: ты берешь готовую постройку (собранную кем-то другим) и разбираешь на составные части. А из этих частей уже можешь строить что-то свое для себя. Ну или бросать их «в топку».

Существует несколько классов ферментов, и есть среди них такие, которые расщепляют сложные биохимические вещества до более простых – что способствует включению их в следующие циклы превращений. Например, ферменты протеазы разрушают связи в длинных белковых цепях, «разрезая» их на отдельные звенья – аминокислоты. Из аминокислот можно будет построить новую цепочку и создать другой белок. Или путем биохимических превращений извлечь из них энергию (рис. 16).

Не только человекам, но и их клеткам также нужно уметь разбирать сложные постройки на запчасти, чтобы после использовать в своих целях. Потому у них также есть аналог желудка, хоть и банально примитивный (потому что такие сверхсложные штуки, как сосиски переваривать, уже не нужно). Желудок клетки представлен пузырьком с кислой средой, и этот пузырек также наполнен ферментами. Чем не микрожелудок? Пузырьки с кислотно-ферментным содержимым называются лизосомы (изучив рис. 17, вы уже никогда не забудете это название).



Рис. 16. Ферменты – это активные органические молекулы, которые ускоряют химические реакции

С помощью лизосом сложная органика (так же как и у нас в пищеварительной системе) распадается на более простые вещества, которые далее могут использоваться для жизнедеятельности клетки. Сложные вещества, состоящие из повторяющихся звеньев более простых молекул, называются полимеры. Сами звенья – соответственно мономеры.

~~Лиза~~ O + сом + А

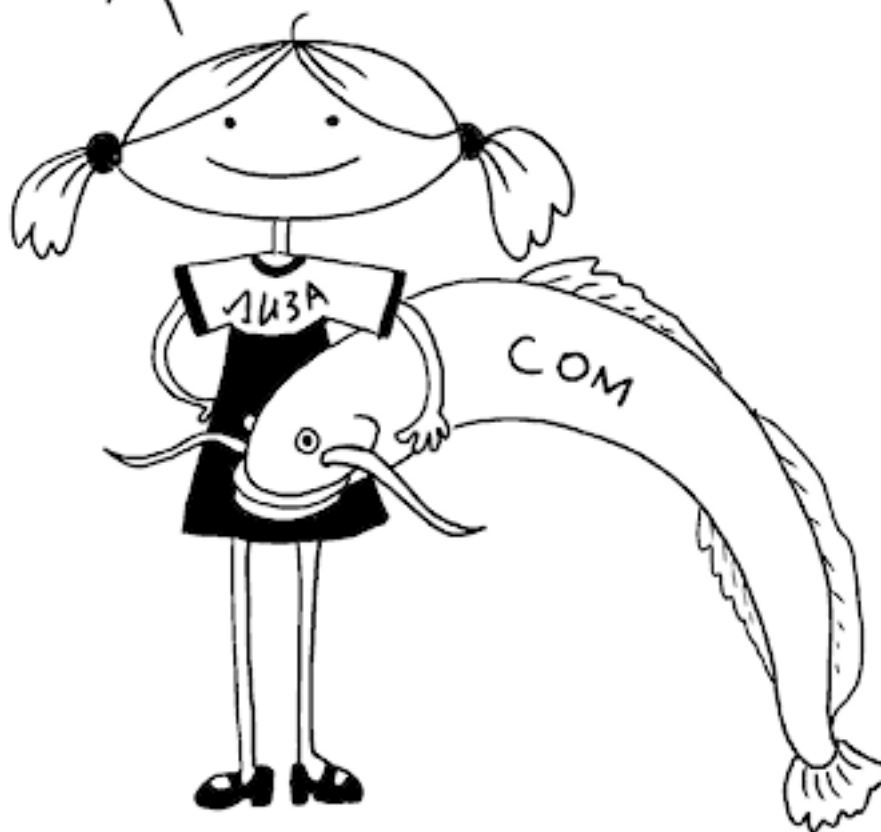


Рис. 17. Естественно, ни с Лизами, ни с сомами лизосомы не имеют ничего общего, а производные тут – слово «лизис» – распад, и слово «сома» – тело

Так как кушать надо всем, желудки-лизосомы имеют практически все одноклеточные, которые используют уже готовую органику. Что касается представителей многоклеточных организмов – даже притом что общество снабжает их уже готовыми мономерами, лизосомы у них все равно имеются (рис. 18). Хотя бы для того, чтобы засунуть в нее часть своей сломанной мебели, разобрать этот утиль на запчасти и сделать себе новый гарнитур. Этот процесс частичного самопереваривания называется аутофагией и является одним из способов ремонта у клеток.

Для шибко любознательных

За открытие аутофагии – процесса переработки и реутилизации клеточных компонентов с помощью лизосом – нужно поблагодарить Ёсинори Осуми, профессора Токийского технологического института. Он получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине в 2016 году.

Для ЛЛ

Из уже построенного дома ничего не построить, потому нужны пищеварительные ферменты, которые разберут его на кирпичи.

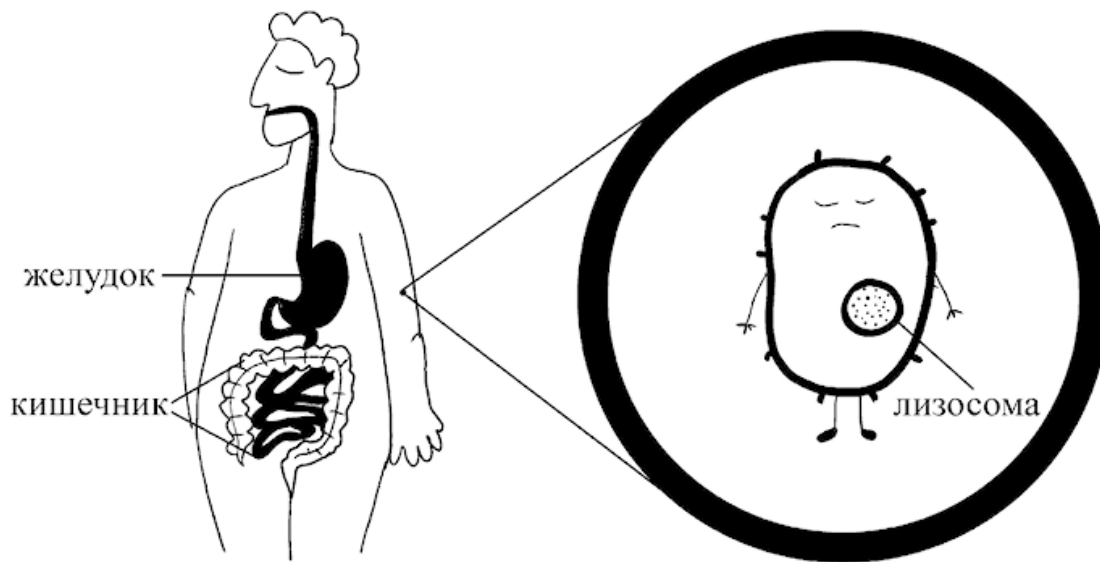


Рис. 18. Пищеварительная система человека и пищеварительная система его клетки (сравнение утрировано): внутренние устройства человека называются органы, а внутренние устройства клетки – органеллы

Пожрать – как задача всей жизни

Официально «пожрать» у клеток называется «фагоцитоз». Это явление было изучено и описано нашим великим соотечественником И.И. Мечниковым. Ученый втыкал посторонние объекты в виде колючек в личинки морских звезд (тот еще был затейник, ага) и наблюдал при помощи микроскопа, что будет. Мечников разглядел, что нагноение вокруг занозы – это скопление подвижных амeboобразных клеток (рис. 19). И он первым догадался, что эти амобы добросовестно пытаются очистить пораженное место, поедая поврежденные ткани.



Рис. 19. Клетки-пожиратели окружили колючку розы и ругаются на Мечникова

Мечников весьма удивился этому открытию, но не остановился и пошел дальше: подсунил этим амeboобразным клеткам бактерий. К немалому восторгу исследователя, бактерий те тоже сожрали. И он понял: работа у них такая!

Наблюдаемые Мечниковым клетки-чистильщики были названы им фагоцитами. От «фаг» – пожирать и «цит» – клетка. А фагоцитозом ученый назвал умение клеток поглощать всякие твердые частицы. Фагоциты были найдены в организме всех многоклеточных животных и, в частности, человека, а Мечников стал основоположником фагоцитарной теории иммунитета. Она гласила, что защита организма

от патогенов осуществляется специализированными клетками – фагоцитами, способными захватывать и переваривать микробов. Это был грандиозный шаг в познании работы иммунной системы.

Наверняка, читая про всякие клеточные пожирательства, некоторые уже призадумались: желудка-то у клетки есть, а вот нечто похожее на рот вряд ли совместимо с жизнью. Дырки в оболочке клетки чреваты тем, что из нее вытечет ценное содержимое, утратится электрический заряд и она развалится. Как же тогда пища попадает внутрь клетки?

Проникновение объекта фагоцитоза в клетку обходится без дырок и отверстий. Клетка сцепляется с вкусняшкой и постепенно обволакивает ее собой. При этом часть оболочки (мембраны) клетки образует вокруг вкусняшки пузырек, который называется фagosома. Когда мембрана вокруг вкусного полностью смыкается, пузырек отпочковывается от основной оболочки и начинает самостоятельное путешествие внутри клетки. По мере продвижения пузырь-фагосома встречается с пузырем-лизосомой и сливается с ним. И все это чем-то напоминает... шоу мыльных пузырей.

Вы удивитесь, но мембраны клеток и их внутренних мембранных органелл действительно состоят из веществ, похожих по свойствам на ПАВ (поверхностно-активные вещества), из которых делают мыло или шампунь. Называются эти вещества липидами. Липидные оболочки благодаря свойствам составляющих их молекул могут легко образовывать отдельные пузыри или сливаться друг с другом.

Конечно, мыльный пузырь в нашем «большом мире» вовсе не ассоциируется с чем-то надежным, но при уменьшении размеров и переходе на микроуровень много чего меняется. Например, вода для клеток – густая и вязкая жидкость, почти как для вас жидкий мед. Представьте себя плывущим в меду – наверное, примерно так чувствует себя микроскопическая клетка в воде. А липидные оболочки, которые для нас слишком тонкие, для крохотных клеток вполне себе прочные. Мало того, регулируя состав липидов (насыщенных, ненасыщенных жирных кислот и холестерина), мембрану можно делать более текучей или более плотной в зависимости от температуры среды.

Не будем отвлекаться на подробности, вернемся к шоу пузырей, которое происходит в клетке при фагоцитозе. Один общий пузырь, который образовался при слиянии фagosомы и лизосомы с ферментами, именуется пищеварительной вакуолью. Ферменты в вакуоле принимаются за дело, и происходит переваривание органики: сложная постройка распадается на составные детали. На схеме на рис. 20 съеденная фагоцитом бактерия развалилась на мономеры.

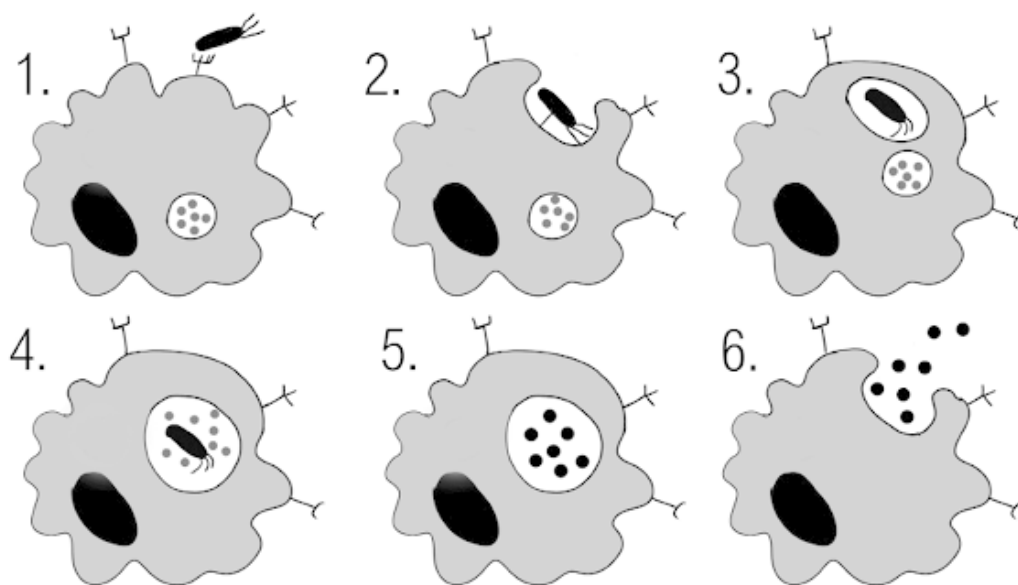


Рис. 20. Этапы фагоцитоза: 1 – сцепление с объектом (с бактерией); 2 – образование псевдоподий вокруг объекта; 3 – образование фagosомы; 4 – слияние фagosомы с лизосомой,

образование пищеварительной вакуоли; 5 – ферментативное расщепление органики до мономеров; 6 – выброс «запчастей» из клетки (происходит не всегда, часто клетка использует образовавшиеся мономеры для собственного хозяйства)

«Изобретение» пузыря в клеточной вселенной было, наверное, по важности сродни изобретению колеса у людей³. Дело в том, что в микромире пузырек получить проще всего, он легко сплющивается и принимает исходную форму, удобен для хранения, транспортировки, импорта или экспорта. Да и стройматериалов все шарообразное требует меньше – площадь поверхности к величине объема у этой

фигуры минимальная. А главное: с точки зрения физики, которую клетки весьма уважают (потому что им, как и всем, деваться некуда), любая система стремится к состоянию с минимальной потенциальной энергией. А шар – самая энергетически экономичная форма. Потому даже сама клетка, лишившаяся сцепления и не ограниченная в пространстве, по закону физики будет стремиться принять форму шара (рис. 21).

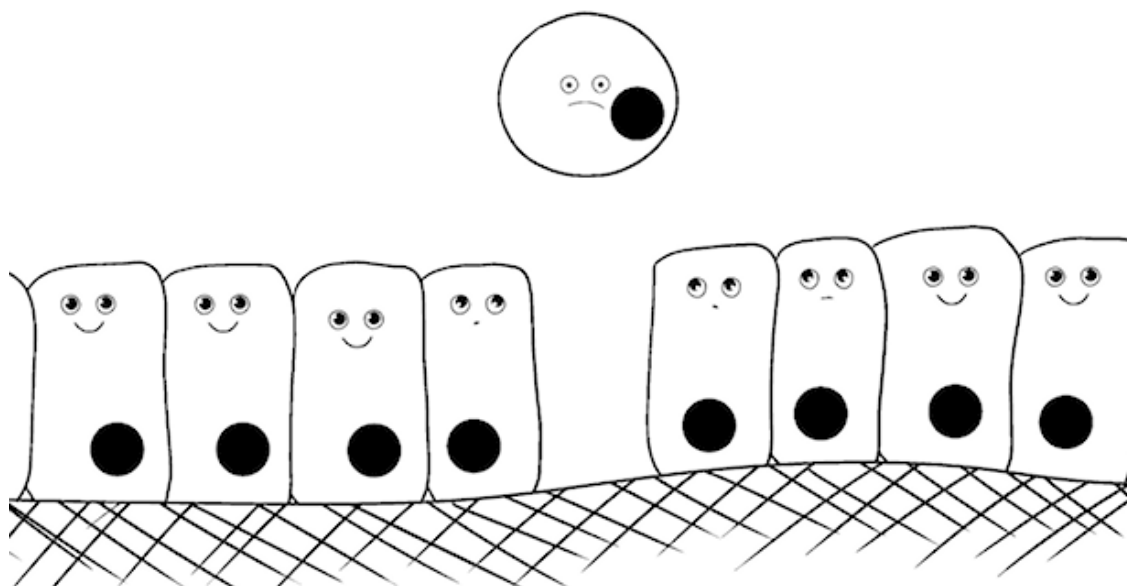


Рис. 21. Клетка, потеряв связь с матриксом и соседями, округляется

Сейчас будет еще немного терминов.



³ Везде, где используется слово «изобретение» по отношению к клеткам, нужно мысленно ставить кавычки, подразумевая переносный смысл. Естественно, клетки ничего не изобретают, а все усовершенствования появляются по законам физики, химии, эволюции и отбора.

Фагоцитоз – частный случай эндоцитоза.

Эндоцитоз – это более общее понятие, сам процесс поглощения чего-либо клеткой («эндо» – внутри чего-либо).

А вот уже эндоцитоз разделяется на пиноцитоз – когда клетка захватывает какой-то жидкий раствор («пьет») и фагоцитоз – когда поглощает твердый объект.

Противоположное эндоцитозу действие – экзоцитоз («экзо» – наружу) – это выдворение чего-то из клетки в окружающую среду. На рис. 20 это завершающий процесс под номером 6. Путем экзоцитоза клетки многоклеточного организма выделяют какие-нибудь вещества. Это могут быть продукты распада, что-то лишнее или то, что работнику по штату положено производить на благо всей системы (например, гормоны). А простейшие путем экзоцитоза обычно только опорожняются. И все это осуществляется с помощью пузырьковых технологий.

Ну что ж, с функцией типа «пожрать» и «пузырьковой» системой пищеварения братьев наших микроскопических разобрались. Вернемся, наконец, к профессионалам в этой области.

Для ЛЛ

Клетка умеет есть, пить и опорожняться без отверстий в оболочке, она для этого использует пузыри.

Большой мусорщик

Участковые макрофаги, которые годами сидят в городских конторах, род деятельности в течение службы не меняют. А вот приходящие тканевые макрофаги не так упрямо консервативны: они могут быстро проходить профессиональную переподготовку и переобуваться буквально на лету в зависимости от потребностей организма. Ученые выделяют несколько типов тканевых макрофагов, но основных – два. Это мирная и боевая формы больших пожирателей [6].

Если в организме все спокойно (относительно спокойно – тихо там не бывает никогда), макрофаг принимает облик типа M2. Такой пожиратель ни с кем не воюет. Он хаотично бродит в тканях, обвешавшись чувствительными молекулярными приборами, которыми нащупывает и собирает всякий негодный хлам: свернувшиеся белки, окисленные жиры и даже остатки погибших клеток.

Какую человеческую профессию напоминает такая деятельность? Верно, по сути, макрофаг M2 работает в вашем организме дворником (рис. 22). Только этот дворник не выносит мусор на свалку. А просто... жрет его прям на месте.

А фто? Офень удобно.

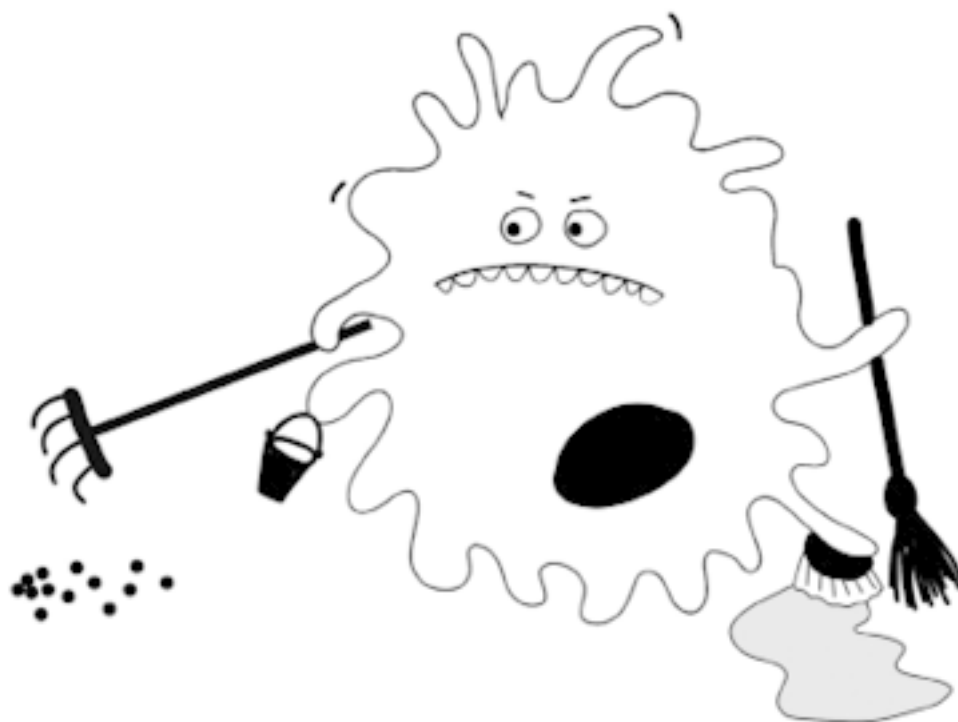


Рис. 22. Весь найденный мусор прилежно фагоцитируется дворником M2 и попадает в его многочисленные клеточные желудки-лизосомы

В желудках-лизосомах макрофагов может находиться около сорока различных ферментов, которые расщепляют белки, сложные углеводы, жирные кислоты и другую всячину (рис. 23). Получившиеся из переваренного хлама молекулярные запчасти далее используются повторно: макрофаг хозяйственно прикарманит их себе, если есть необходимость починить свой рабочий инвентарь. Но скорее всего дежурный уборщик вытряхнет полезные запчасти из себя наружу экзоцитозом, и они пойдут далее на нужды других клеток.

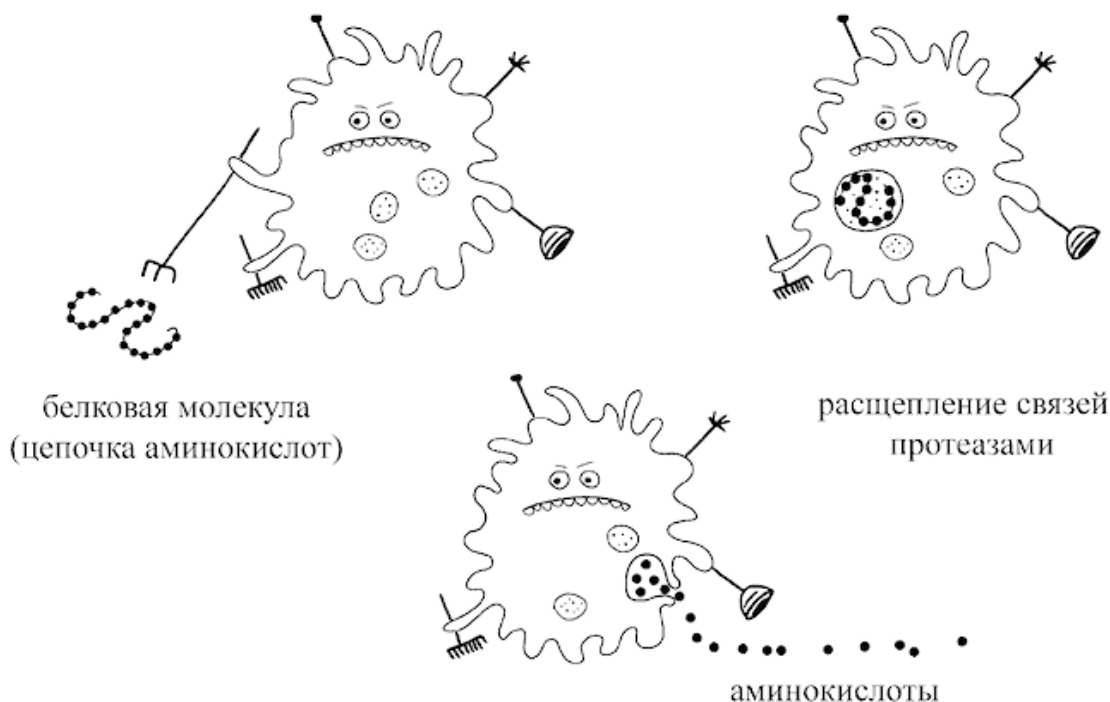


Рис. 23. Макрофаг захватывает рецептором бесхозную цепочку аминокислот, фагоцитирует ее. Фагосома сливается с лизосомой, ферменты протеазы расщепляют цепочку до отдельных мономеров – аминокислот. Аминокислоты извлекаются из макрофага экзоцитозом, их используют другие клетки для строительства новых белков

Получается, макрофаг типа M2 – не просто уборщик, а лучше! Это такой дворник со встроенной функцией вторичной переработки мусора. И если бы не эти экодворники, клетки организма с годами утонули бы в отходах, потому как вывоз определенных категорий мусора из тканей – дело зачастую невозможное. Спасает исключительно переработка отходов прямо на месте (и тут человечеству определенно есть чему поучиться).

Кстати, стоит отметить, что многие тканевые макрофаги не ползают без особой надобности – зачем тратить энергию попусту. Они прикрепляются в тканях и дежурят там, подремывая. В резерве, так сказать. Но если дежурные улавливают сигналы о разрушении или неполадках, то снимаются с якоря, увеличивают количество желудков, наполняя их кислотой и ферментами, и немедленно ползут к месту происшествия. Хотя «немедленно» – это, конечно, громко сказано. Скорость макрофага оставляет желать лучшего: он преодолевает расстояние, равное собственной тушке, за целую минуту. Медленнее улитки! Но большинство клеток в вашем организме не способны передвигаться в принципе, потому макрофаг все равно там самый шустрый. Как говорится, среди слепых одноглазый – король.

Тут должен возникнуть вопрос: а как макрофаг вообще ползает? Это же всего лишь одна клетка – пузырь с жидкостью. У нас-то, людей, для передвижения существуют сложные структуры в виде рычажного скелета, связок, мышц... А у клетки что?

А у клетки тоже есть и «скелет», и «мышцы».

«Скелет и мышцы»

Если вы до этого представили клетку каким-то мыльным пузырем, давайте исправлять ситуацию. У каждой вашей клетки есть собственный скелет. Он так и называется: цитоскелет. То есть «клеточный» скелет.



Приставка или суффикс «-цит-» обычно указывает на связь с клеткой. Запомните, не раз еще пригодится.

Цитоскелет состоит из микротрубочек и разнообразных нитевидных структур. А строится цитоскелет путем самосборки и самоорганизации. По сути, сам по себе. Магия? Нет. Биохимия!

Микротрубочки цитоскелета состоят из белка тубулина. А нитевидные структуры – из белка актина. Тубулин и актин – это сложные мономеры (ага, мы уже знаем это слово!), одинаковые молекулы, которые могут полимеризоваться (соединяться в длинные цепи). Белки тубулина при самосборке образуют полые трубочки. А из белков актина получается спирально закрученная нить.

Происходят процессы полимеризации и обратного распада сами по себе, но напрямую зависят от определенных факторов. Влияют на это температура, кислотность, количество кирпичей-мономеров и даже сила отталкивания строящейся нити от препятствий. А так как процесс сборки и разборки полимеров происходит автоматически, но зависит от различных условий, то, изменяя эти условия, клетка может своим цитоскелетом... управлять! И клетки тут являются не совсем строителями в нашем понимании – у них ведь нет рук и инструментов. Они выступают, как бы это назвать... биохимическими дирижерами.

Среднестатистический клеточный скелет выглядит так: микротрубочки растут из клеточного центра и расходятся во все стороны на периферию к мембране (рис. 24). Актиновые нити часто и густо располагаются прямо под мембраной, образуя каркас, эдакий пружинистый матрасик, который помогает поддерживать форму.

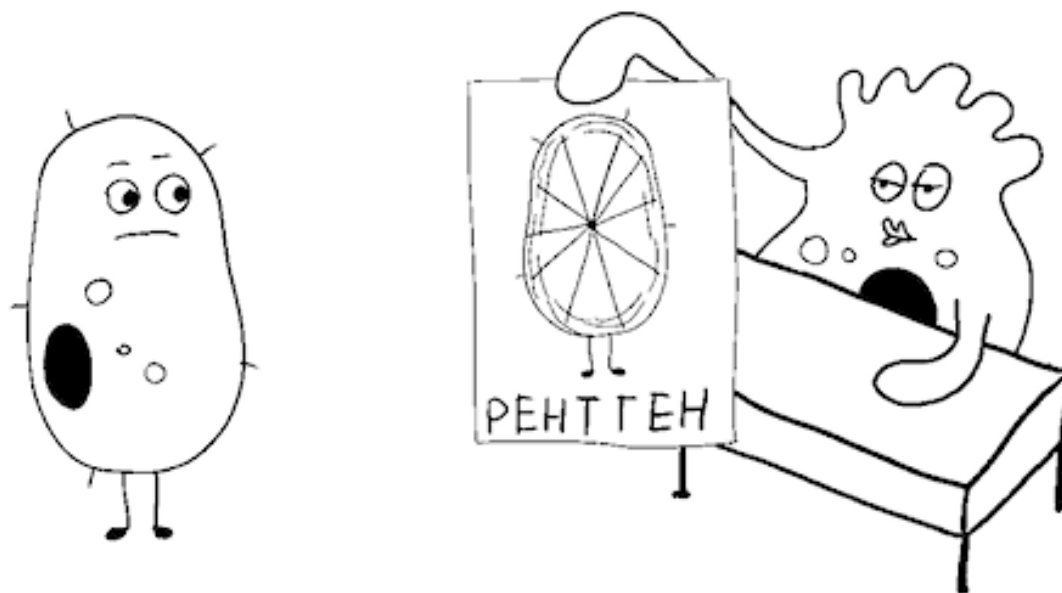


Рис. 24. Цитоскелет клетки: микротрубочки из тубулина расходятся из центра на периферию, нити актина расположены под клеточной мембраной

Для шибко любознательных

Такие хитроумные белковые молекулы не появились сразу из ниоткуда – это итог длительного эволюционного отбора. Благодаря биохимической эволюции в условиях, заданных законами химии и физики, путем бесчисленных проб и ошибок, в распоряжении клеток оказался биохимический конструктор, способный «строить сам». Самосборка молекулярных полимеров (тубулин, актин) или фибриллярных белков (коллаген, эластин) может проходить как с затратой энергии, так и без – путем других химических взаимодействий (ковалентные сшивки, водородные связи и т. д.). А на запуск или скорость процесса могут влиять температура, кислотность среды, ферменты (катализаторы) и другие условия.

Вообще, менять форму скелета по желанию – это очень круто, согласитесь. Если бы мы так умели, то были бы способны сплющиваться в блин и протискиваться в самые узкие щели. Или отращивали ноги подлиннее, опаздывая на работу. Но цитоскелет клетки устроен довольно просто, потому, обладая запасом тубулина и актина, клетка может быстро собрать и разобрать свой внутренний конструктор. А человеческий скелет по сравнению с этими молекулярными технологиями – это уже переход с микро- на макроуровень. Кость – сложнейшая постройка из миллионов клеток (у каждой из которых есть свой цитоскелет!) и хитроумно сложенных белковых волокон, да еще и покрытых кристаллами кальция. Попробуй-ка все это хозяйство быстренько разбери-собери.

Но кое-какие возможности перестраивать свой скелет и у нас тоже имеются! Да, мы не можем, как макрофаг, отрастить себе ногу там, где вздумается, и кости с возрастом теряют способность расти в длину. Но ученые выяснили, что в ответ на физические нагрузки кости становятся плотнее и крепче, а при длительной бездеятельности – наоборот, теряют плотность. И скелет космонавта, и скелет прикованного к постели человека всего после нескольких месяцев отсутствия механических нагрузок становятся очень хрупкими. А под влиянием занятий спортом кости укрепляются, да так, что меняется даже их внешний вид: они становятся массивнее и толще, а выступы, гребни – более выраженными (изменения зависят непосредственно

от вида спорта). Так что не только ваши клетки, но и вы тоже перестраиваете свой скелет на протяжении всей жизни. А вот хорошую сторону или не очень – это зависит от того, что вы делаете (в частности, от питания, вида и уровня нагрузок). В общем, сказать, что мы совсем уж не можем перестраивать свой скелет, будет не совсем верным, так что не будем расстраиваться.

Пожалуй, хватит про скелет, давайте про мышцы. Настоящих мышц, естественно, у клеток тоже нет. Потому как мышца – это сложный орган, который сам состоит из клеток (как и кости). Но некое упрощенное подобие мышц у клеток имеется: представлено оно нитями упомянутого актина, по которым передвигаются молекулы другого белка, миозина. В этом процессе участвуют ионы кальция, без кальция никто никуда не поедет. То же самое происходит, кстати, и в ваших мышцах – именно потому они имеют способность сокращаться и растягиваться. Вот только в ваших мышечных клетках тубулина и актина очень много, эти белки строго упорядочены в толстые волокна. А в обычных клетках (в частности, у простейших) актин и миозин образуют некое подобие тонкой сеточки. Но она также способна сокращаться. Выглядит это примерно так, как показано на рис. 25.

Итак: у клетки есть скелет, мышцы. Но как все это позволяет ей передвигаться, да еще и целенаправленно? Клетка ведь не слоняется куда попало, как пьяная. Ее поведение и движение порой поражают своей точностью! Что ж, если интересно немного подробнее разобраться в технике движения клеток, стоит обратиться к тем, кто больше всех в этом преуспел. Собственно, к амебам.

клеточные «мышцы»

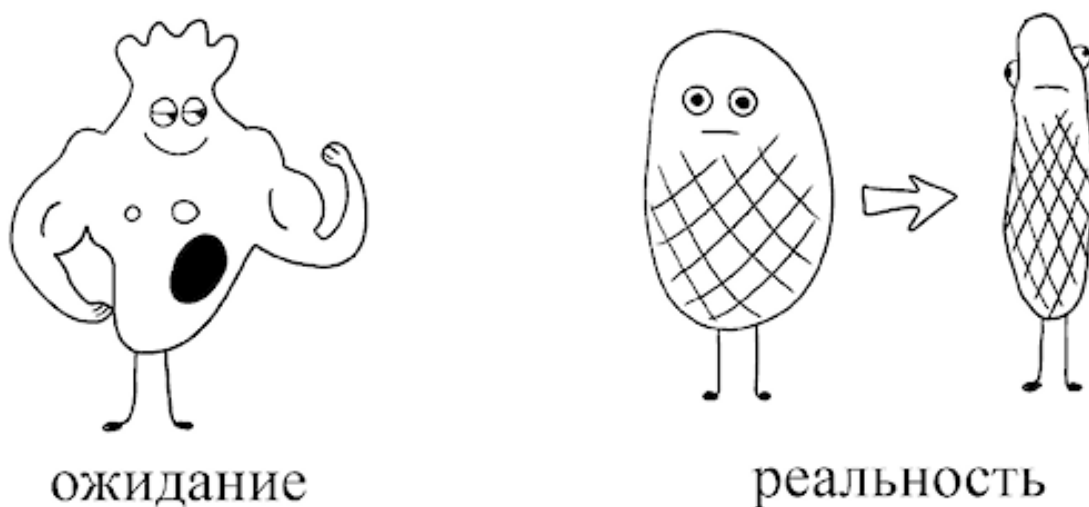


Рис. 25. Растянулись – сократились! Мышцы у клетки так себе

Для ЛЛ

У клетки есть самосборный скелет и самосборные мышцы.

«Перед» и «зад» – по мере необходимости

Аристотель сказал: *«Движение – это жизнь, а жизнь – это движение»* – и оказался прав во многих смыслах. Поиск ресурсов, партнеров, освоение новых территорий – все это чаще всего требует способности активно перемещаться. Потому история эволюции приспособлений для движения у жизненных форм началась очень рано, уже на стадии первых одноклеточных.

Если нанести на предметное стекло каплю ила из пруда или застойной лужи и посмотреть в микроскоп, мы увидим там весьма оживленную тусовку. Носятся мелкие инфузории, чинно перетекает куда-то амeba, вращается в толще воды жгутиконосец, а диатомовые водоросли «утюжат» вперед-назад. Даже мельчайшие бактерии, которых едва можно рассмотреть в световой микроскоп, далеко не все сидят на месте. Приспособления для перемещения одноклеточных отличаются большим разнообразием: реснички, жгутики, реактивное движение, осциллирующее (колебательное) движение. Встречаются способы локомоции, аналогов которым нет у многоклеточных животных от слова «совсем»: это как раз передвижения амeb при помощи «переливания» цитоплазмы из одного участка клетки в другой.

Но как жидкая цитоплазма может помочь в движении? Нам сложно даже представить, что можно двигаться, переливая внутри себя жидкость...

Хе. Дело в том, что цитоплазма внутри клетки – это не просто раствор. Основоположник научной микроскопии Антони ван Левенгук (это он, кстати, дал инфузориям название «инфузория») описывал клетку как мешочек с кашей. Но все оказалось интереснее. В цитоплазме клетки присутствуют ионы (вещества, несущие положительный или отрицательный заряд), разнообразные молекулы и крупные молекулярные агрегаты. Часть воды связывается с этими веществами, образуя два разных состояния: золь или гель. Золь – структура типа «твердое в жидком», та самая рыхлая каша. А гель – типа «жидкое в твердом», что-то вроде плотного желе или холодца.

Регулируя структуру цитоплазмы от золя к гелю (от кашицы к холодцу), клетка может перетекать, а потом застывать, как желеванная конфетка, фиксируя форму. Так что цитоплазма не так проста, как кажется, и вполне себе способна участвовать в изменении формы клетки.

Однако в гипнотизирующем перетекающем движении амebы участвует не только цитоплазма, но и весь цитоскелет существа: актиновые волокна и актин-миозиновая сеть.

Как клетке вообще приходит в голову (или что у нее там) начать куда-то двигаться? В ответ на определенный значимый стимул (световой, химический, температурный) в клетке запускается перестройка скелета. Если сигнал желанный для клетки (например, след чего-то вкусного), в эту сторону начинает расти целый букет актиновых волокон. Само по себе быстрое удлинение нитей актина приводит к возникновению движущей силы в направлении роста этих нитей. Так образовывается выпуклость – та самая пресловутая ложноножка, или псевдоподия. Она будет тащить клетку в направлении положительного стимула в надежде, что там можно будет чем-то полезным поживиться.

В ответ на отрицательный стимул (например, яркий свет, который для существа может быть опасен) цитоскелет тоже начнет удлиняться, но только в противоположном направлении. Чтобы утащить клетку подальше от неприятностей.

Таким образом на время движения определяется передний и задний конец амebы. Не удивляйтесь: это у вас передний и задний конец всегда на одном месте с рождения. Но это вовсе не значит, что так у всех. У амebы, как видите, все условно: перед и зад у нее появляются по мере необходимости (у макрофага, кстати, тоже). Ползет влево, значит, зад – справа.

Но вернемся внутрь клетки (рис. 26): пока в нужную сторону растет пучок актина, цитоплазма на переднем конце выпячивающейся псевдоподии растворяется в золь (кашу). А по

краям застывает в гель (холодец). Это дает возможность фиксировать форму псевдоподии, но при этом продолжать расти-тянуться вперед.

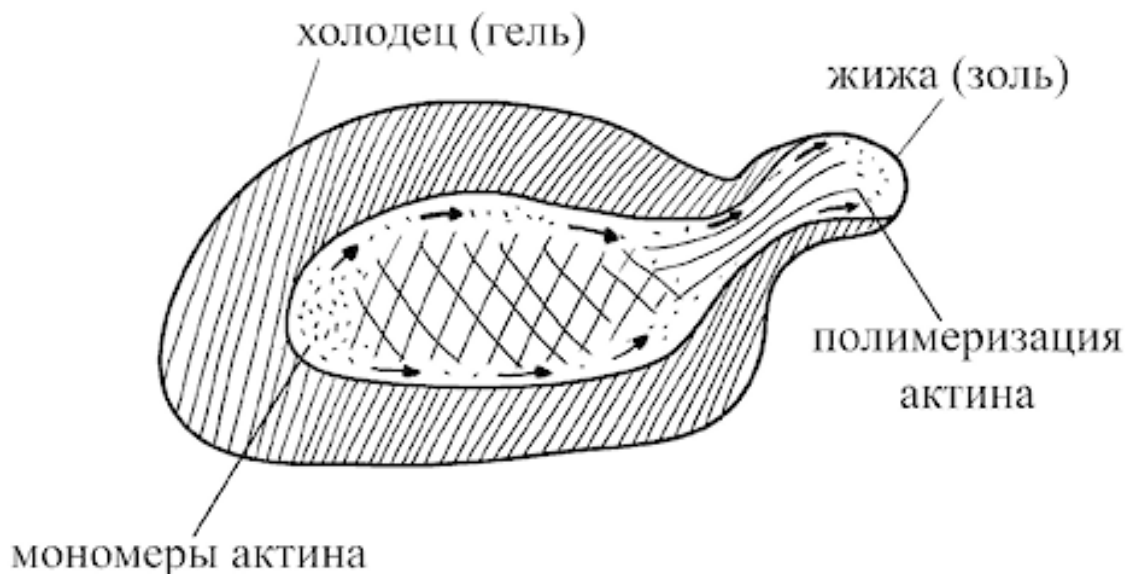


Рис. 26. Образование псевдоподии у клетки амебы: структуры актинового цитоскелета распадаются на мономеры (на заднем конце клетки), стрелками указано, куда они движутся с током цитоплазмы. На переднем конце актиновые мономеры полимеризуются в нити, которые удлиняются и выталкивают вперед псевдоподию

Одновременно с удлинением ноги сеточка актин-миозиновых волокон (клеточная мышца) на заднем конце амебы сокращается, выдавливая цитоплазму вперед, как пасту из тьюбика. Цитоплазма в ответ на сдавление послушно перетекает в направлении движения.

В это время цитоскелет на заднем конце распадается на составные мономеры, которые потоком перетекающей цитоплазмы переносятся на передний конец. Там эти мономеры используются для постройки каркаса растущей псевдоподии. То есть на заднем конце клетка разбирает свои внутренние постройки на кирпичи, а на переднем удлиняет ими новую ногу.

Интересно, что когда длинная молекула полимера на одном конце разбирается и укорачивается, а на другом надстраивается и удлиняется, она постепенно продвигается в пространстве и может так уползти на приличное расстояние! В большом мире трудно найти аналоги такому типу движения, а в физической химии его называют «протягивание».

Если выросшая псевдоподия благополучно закрепилась за что-нибудь, то вся амeba подтянется вслед за ней, а если нет, то произойдет обратная разборка цитоскелета и псевдоподия втянется обратно. Бывает такое, что амeba образует несколько выростов в противоположные стороны, – это можно назвать «нерешительностью». Задумчивая амeba похожа на расплывшуюся кляксу (рис. 27): псевдоподии тянут ее в разные стороны. Как вы догадались, у такой неопределившейся амебы в этот момент нет ни переды, ни зады.

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.