

**Министерство здравоохранения Украины
Харьковский национальный медицинский университет
Кафедра медицинской биологии**

МОРФОЛОГИЯ КЛЕТКИ. СТРУКТУРНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЦИТОПЛАЗМЫ И ЯДРА

**Методические рекомендации
для самостоятельной внеаудиторной работы студентов**

Харьков
2012

Садовниченко Ю.А., Шмулич О.В. Морфология клетки. Структурные компоненты цитоплазмы и ядра: Метод. указ. для самост. внеауд. работы студ. — Харьков: ХНМУ, 2012. — 22 с.

КАФЕДРА МЕДИЦИНСКОЙ БИОЛОГИИ ХНМУ

Актуальность темы. Несмотря на то, что клетка является элементарной единицей строения и функций организма человека, в основе любых заболеваний человека лежат нарушения работы отдельных клеток или их групп. Именно клетка является основной мишенью атаки со стороны различных возбудителей, которые могут иметь как клеточное, так и неклеточное строение. Таким образом, глубокое понимание биологии клетки является важным не только для понимания развития болезни, но и для ее диагностики, выбора методов лечения и профилактики заболевания. Кроме того, сами клетки широко применяются как источник биологически активных соединений, а также в терапевтическом клонировании для регенерации поврежденных органов.

Цель: Изучить строение клетки как элементарной единицы жизни; уяснить взаимосвязь строения и функции клеток, значение дифференцировки тканей.

ИНФОРМАЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ

ФОРМЫ ЖИЗНИ

Все разнообразие жизни на планете может быть сведено к двум основным формам — клеточной и неклеточной: клетки являются единицей строения подавляющего большинства организмов — растений, животных, грибов и бактерий, тогда как прионы, вирионы и вирусы относятся к неклеточным формам.

Прионы (сокр. англ. *proteinaceous infectious* и *-on*) — это небольшие инфекционные агенты сугубо белковой природы, имеющие форму нити или кристалла. Они могут достигать 200 нм в длину. Такие же по составу белки имеются и в нормальной клетке, однако прионы обладают необычной третичной структурой. Попадая в организм с пищей и лекарственными препаратами, а также в результате медицинских манипуляций, прионы проникают в нейроны головного мозга, вызывают активацию определенного гена и помогают его продуктам приобретать необычную структуру, что приводит к накоплению «ненормальных» белков и дефициту нормальных. Естественно, что это вызывает нарушения структуры и функций определенных участков нервной ткани, и приводит к развитию неизлечимых в настоящий момент заболеваний: «коровьего бешенства», болезни Крейтцфельдта-Якоба, куру, фатальной семейной бессонницы и др. Способность к образованию прионов может приобретаться организмом также вследствие мутаций либо передаваться в ряду поколений. За изучение прионов американскому врачу С. Прузинеру была присуждена Нобелевская премия (1997 г.).

Вирионы (от лат. *vira* — яд и греч. *eidos* — форма, вид) — это мельчайшие возбудители болезней растений, в состав которых входит только низкомолекулярная РНК. Эта РНК, вероятно, не кодирует собственных белков, а только воспроизводится в клетках растения-хозяина, используя их ферментные системы. Нередко она может также разрезать ДНК клетки-хозяина на несколько частей, обрекая тем самым клетку и растение в целом на гибель.

Так, несколько лет назад вириоды вызвали гибель миллионов кокосовых пальм на Филиппинах.

Вирусами (от лат. *vira* — яд) называют мельчайшие живые объекты, неспособные к проявлению каких-либо признаков жизни вне клеток. Факт их существования был доказан в 1892 году русским ученым Д.И. Ивановским.

Вирусы существуют в двух формах: покоящейся, или внеклеточной, и воспроизводящейся, или внутриклеточной. Свободноживущих вирусов не существует — все они внутриклеточные паразиты на генетическом уровне.

В наше время известно уже около 1000 вирусов, которые классифицируют по объектам поражения, особенностям химического состава и строения.

Особенности объектов поражения определяют подразделение вирусов на две большие группы — **собственно вирусы**, паразитирующие только в эукариотических клетках растений, животных и грибов, а также **бактериофаги**, внедряющиеся в прокариотические клетки бактерий.

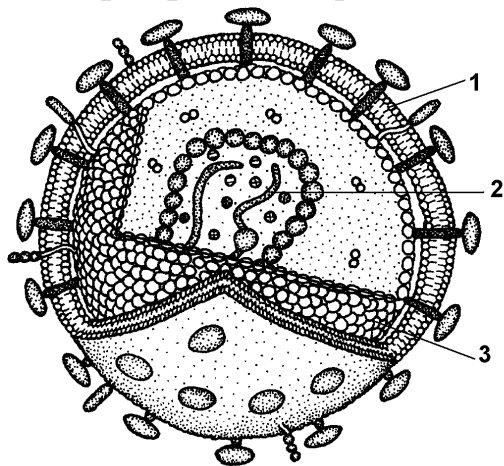


Рис. 1. Строение вируса иммунодефицита человека:
1 — суперкапсид; 2 — РНК;
3 — капсид

В отличие от клеточных форм жизни, вирусы состоят только из органических веществ — в основном нуклеиновых кислот и белка, однако часть вирусов содержит также липиды и углеводы. В вирусах присутствует только один вид нуклеиновой кислоты (либо ДНК, либо РНК), поэтому их делят на *ДНК-* (вирусы оспы, простого герпеса, аденовирусы, некоторые вирусы гепатита и бактериофаги) и *РНК-содержащие вирусы* (вирусы табачной мозаики, ВИЧ, клещевого энцефалита, кори, краснухи, бешенства, гриппа, остальные вирусы гепатита и бактериофаги и др.).

По особенностям строения поверхностного аппарата вирусы делят на **простые** и **сложные**. У простых вирусов нуклеиновая кислота покрыта только белковой оболочкой — *капсидом*, тогда как у сложных вирусов имеется еще и наружная липопротеиновая мембрана — *суперкапсид*. Сложные вирусы могут содержать также неструктурные белки-ферменты.

Заражение вирусом происходит только при непосредственном контакте вируса с клеткой. В клетку человека вирусы могут попадать случайно, при поглощении клеткой жидкости (пиноцитоз), либо в результате взаимодействия с мембраной клетки-хозяина. После удаления капсида в ходе «раздевания», вирус использует ферментные системы и рибосомы клетки для многократного копирования собственной нуклеиновой кислоты и синтеза вирусных белков. Затем происходит их самосборка в вирусные частицы — **вирионы**, которые могут покидать клетку одновременно, вызывая ее гибель, либо в течение длительного времени отпочковываясь от нее.

Несмотря на то, что вирусы вызывают заболевания человека, животных и растений, инфицирование ими может повышать устойчивость организма к разнообразным возбудителям заболеваний. Они также могут вызывать мутации и осуществлять горизонтальный перенос генов. В наше время вирусы широко используются в генетических и молекулярно-биологических исследованиях, а также в генной инженерии и как инструмент биологической борьбы с возбудителями некоторых заболеваний растений, грибов, животных и человека.

Основным средством профилактики вирусных заболеваний у человека является ношение марлевых повязок при контакте с больными заболеваниями дыхательных путей, мытье рук, овощей и фруктов, протравливание мест обитания переносчиков вирусных заболеваний, вакцинация от клещевого энцефалита, стерилизация медицинских инструментов в лечебных учреждениях и др.

КЛЕТОЧНАЯ ТЕОРИЯ

Клетка была открыта Р. Гуком в 1667 году. Изучением строения клетки, ее жизнедеятельности и взаимодействия с окружающей средой занимается наука **цитология** (от греч. *kytos* — полость, вместилище, здесь — клетка, *logos* — наука, учение), или **клеточная биология**. Своему появлению цитология обязана формулировке клеточной теории (М. Шлейден, Т. Шванн, 1838—1839 гг., дополнена Р. Вирховом, 1855 г.). *Клеточная теория* является обобщенным представлением о строении и функциях клеток как единиц живого, об их размножении и роли в формировании многоклеточных организмов.

Основные положения клеточной теории:

1. Клетка — единица строения, жизнедеятельности, роста и развития живых организмов — вне клетки жизни нет.
2. Клетка — единая система, состоящая из множества закономерно связанных друг с другом элементов, представляющих собой определенное целостное образование.
3. Клетки всех организмов сходны по своему химическому составу, строению и функциям.
4. Новые клетки образуются только в результате деления исходных клеток («клетка от клетки»).
5. Клетки многоклеточных организмов образуют ткани, из тканей состоят органы. Жизнь организма в целом обусловлена взаимодействием составляющих его клеток.
6. Клетки многоклеточных организмов имеют полный набор генов, но отличаются друг от друга тем, что у них работают различные группы генов, следствием чего является морфологическое и функциональное разнообразие клеток — дифференцировка.

ТИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ КЛЕТОК: ПРОКАРИОТИЧЕСКИЕ И ЭУКАРИОТИЧЕСКИЕ

Каждая клетка отделена от внешней среды **поверхностным аппаратом**, в состав которого входит **плазматическая мембрана**, или **плазмалемма**, а ее

внутреннее пространство заполнено **цитоплазмой** с погруженным в нее **наследственным аппаратом**. Цитоплазма состоит из матрикса, или основного вещества, — **гиалоплазмы** — и погруженных в нее органелл и включений. **Органеллы** — это постоянные компоненты клетки, выполняющие определенные функции, а **включения** — возникающие и исчезающие в процессе жизни клетки компоненты, выполняющие в основном запасующую или выделительную функции.

В настоящее время различают два основных типа организации клеток: прокариотические и эукариотические.

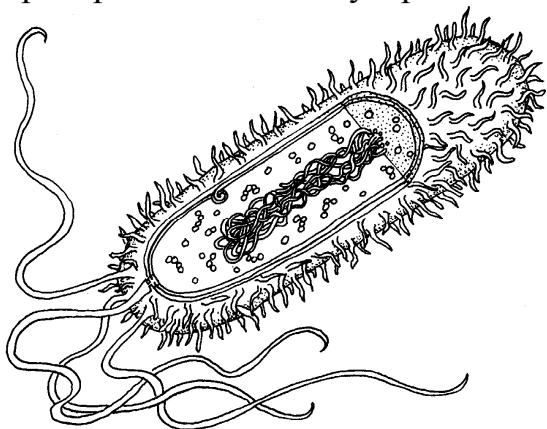


Рис. 2. Строение прокариотической клетки:

- 1 — нуклеоид; 2 — цитоплазма;
- 3 — рибосомы; 4 — плазмалемма;
- 5 — клеточная стенка; 6 — капсула;
- 7 — жгутики.

Прокариотическая клетка (от греч. *pro* — перед, раньше, вместо, и *karyon* — ядро) не имеет ядра, ее наследственный аппарат не отделен от цитоплазмы мембранами. Эту область цитоплазмы называют **нуклеоидом**. Молекула ДНК имеет у прокариот кольцевую форму. Она, в отличие от ДНК эукариот, не образует комплексов с гистоновыми белками. Гены прокариот также имеют определенные структурно-функциональные различия с генами эукариот. В прокариотической клетке может иметься и дополнительная молекула ДНК — **плаزمид**, которая переносится в процессе конъюгации от одной клетки к другой и обладает способностью встраиваться в основную

молекулу ДНК.

Единственными органеллами прокариот являются рибосомы. Они меньше по размерам, чем рибосомы эукариот. По скорости осаждения при дифференциальном центрифугировании их относят к 70S рибосомам. В прокариотической клетке могут иметься выпячивания плазмалеммы — **мезосомы**, служащие для увеличения площади поверхности протекания химических реакций, но и они не относятся к мембранным органеллам.

Включения в прокариотических клетках представлены гранулами гликогена и волютина, а также каплями жира, выполняющими запасующую функцию.

Многие прокариоты имеют органеллы движения — **жгутики** — либо иные выпячивания — **ворсинки**, служащие для прикрепления к субстрату или обмена наследственной информацией в процессе конъюгации. Жгутики прокариот имеют ряд принципиальных отличий от жгутиков эукариот, в частности, они образованы белком флагеллином.

В состав поверхностного аппарата прокариот, помимо плазмалеммы, входит также надмембранный комплекс, образованный клеточной стенкой и капсулой или облаком слизи. Основу клеточной стенки большинства прокариот составляет сложное органическое вещество — **муреин**. Муреин расщепляется

компонентом слюны человека — *лизоцимом*, на чем основывается бактерицидное действие последнего. По особенностям строения клеточной стенки выделяют две группы прокариот — *грамположительные* и *грамотрицательные*. Капсула прокариот чаще всего представляет собой уплотненный слой слизи, тогда как облако не имеет четко очерченных границ.

Компоненты поверхностного аппарата выполняют целый ряд функций: защищают прокариотическую клетку от воздействия факторов окружающей среды, в том числе проникновения бактериофагов, придают ей форму, помогают удерживать воду и принимают участие в транспорте веществ, служат резервуаром питательных веществ, объединяют клетки в колонии и цепочки, а также обеспечивают их прикрепление к субстрату. Некоторые прокариоты не способны образовывать клеточную стенку и капсулу изначально, либо утратили эту способность под воздействием антибиотиков и факторов окружающей среды.

Средние размеры прокариотической клетки составляют 0,5—10 мкм.

Большинство прокариот является одноклеточными организмами, к ним относятся бактерии, цианобактерии, или сине-зеленые водоросли, и архебактерии.

По способу питания прокариот делят на гетеротрофов (паразиты, сапротрофы, мутуалисты и хищники) и автотрофов (цианобактерии и ряд хемосинтезирующих бактерий). Одним из них необходим кислород для осуществления дыхания (аэробы), а другим — нет (анаэробы). Примером анаэробных бактерий является ботулиническая палочка (клостридий). Размножаются бактерии бесполым способом — простым делением клетки и почкованием. У них известен и половой процесс — *конъюгация*. При неблагоприятных условиях бактерии могут образовывать покоящиеся формы — цисты и споры.

Многие мутуалистические бактерии обитают в организме человека и на его покровах (микрофлора кишечника и кожи). Прокариоты расщепляют органические вещества, завершая биогеохимические циклы, а также связывают атмосферный азот в почве. В результате их деятельности образовались кислород земной атмосферы и залежи многих полезных ископаемых. Бактерии используются в производстве продуктов питания и лекарственных препаратов, в качестве индикаторов загрязнения воды и т.д.

Вместе с тем, бактерии являются возбудителями многих болезней человека (холера, дизентерия, чума и др.), животных, растений и грибов — *бактериозов*. Они способны вызывать «цветение» воды и портить продукты питания.

Меры профилактики бактериальных заболеваний в основном совпадают с таковыми для вирусных инфекций.

Эукариотическими (от греч. *eu* — хорошо, полностью, и *karyon* — ядро) называют клетки, в которых хотя бы на одной из стадий развития имеется *ядро* — специальная структура, в которой находится ДНК. Цитоплазма эукариотических клеток отличается значительным разнообразием органелл, в том числе окруженных мембранами.

Средний размер эукариотических клеток составляет 10—100 мкм. Большинство эукариот является многоклеточными организмами. К ним относят растения, животные и грибы.

СТРОЕНИЕ ЭУКАРИОТИЧЕСКОЙ КЛЕТКИ

Поверхностный аппарат. Как уже говорилось выше, поверхностный аппарат клетки образован цитоплазматической мембраной, надмембранным и подмембранным комплексами.

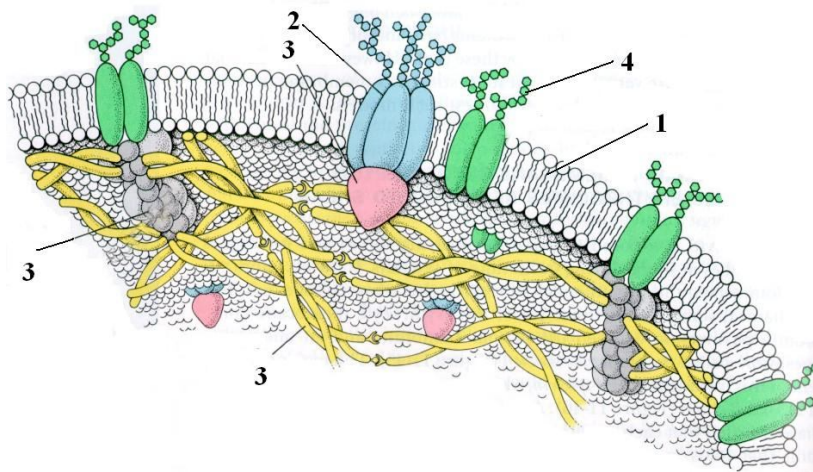


Рис. 3. Жидкостно-мозаичная модель строения мембраны:

1 — липидный бислой; 2 — интегральный белок;

3 — периферические белки; 4 — углеводный остаток гликопротеина.

Мембраны,

ограничивающие клетки и мембранные органеллы эукариотических клеток, имеют общий химический состав и строение. Их толщина составляет 7—10 нм. В состав мембран входят липиды, белки и углеводы.

Липиды мембраны представлены в основном фосфолипидами (75%) и холестерином (20%). Большинство белков мембран относится к сложным белкам, например, гликопротеинам.

Углеводы не встречаются в мембране в свободном состоянии: они входят в состав сложных белков и липидов — гликолипидов и гликопротеинов. Согласно общепринятой в настоящее время жидкостно-мозаичной модели строения мембран, липиды образуют двойной слой, или липидный бислой, в котором гидрофильные «головки» молекул фосфолипидов обращены наружу, а гидрофобные «хвосты» спрятаны вовнутрь мембраны. Эти «хвосты» благодаря своей гидрофобности обеспечивают разделение водных фаз внутренней среды клетки и ее окружения. С липидами различными типами взаимодействий связаны белки. Часть белков расположена на поверхности мембраны. Такие белки называют *периферическими*, или *поверхностными*. Другие белки частично или полностью погружены в мембрану — это *интегральные*, или *погруженные*, белки.

Биологические мембраны различаются по расположению в клетке, химическому составу и выполняемым функциям. Их основными типами являются цитоплазматическая мембрана и внутренние мембраны. *Цитоплазматическая мембрана*, или *плазмалемма*, содержит около 45% липидов (в т.ч. гликолипидов), 50% белков и 5% углеводов. Цепочки углеводов, входящих в состав сложных белков-гликопротеинов и сложных липидов-гликолипидов, выступают над поверхностью мембраны. Гликопротеины плазмалеммы являются чрезвычайно специфичными, например, по ним

происходит взаимное узнавание клеток, в том числе сперматозоида и яйцеклетки.

Внутренние мембраны эукариотических клеток разграничивают различные части клетки, образуя своеобразные «отсеки» — компартменты, что способствует разделению различных процессов обмена веществ и энергии. Они могут отличаться по химическому составу и выполняемым функциям, но общий план строения у них сохраняется.

Основными функциями мембран являются ограничивающая, барьерная, транспортная, рецепторная, каталитическая, энергетическая и образование межклеточных контактов.

Надмембранный комплекс животных клеток представлен тонким поверхностным слоем углеводных цепочек — *гликокаликсом*. Он выявлен почти во всех животных клетках, но степень его выраженности в различных случаях неодинакова (10—50 мкм). Гликокаликс обеспечивает непосредственную связь клетки с внешней средой, в нем происходит внеклеточное пищеварение и размещены рецепторы.

Клетки растений и грибов, помимо плазмалеммы, окружены еще и клеточными оболочками, или клеточными стенками. У растений основу клеточной оболочки составляет целлюлоза. Растительные клетки сообщаются между собой посредством особых клеточных контактов — *плазмодесм*.

Клеточные стенки грибов образованы хитином — углеводом, содержащим азот. Они достаточно прочны и являются внешним скелетом клетки, но все же, как и у растений, препятствуют фагоцитозу.

Оболочка определяет форму клетки, служит механической опорой, выполняет защитную функцию, обеспечивает осмотические свойства клетки, ограничивая растяжение живого содержимого и предотвращая разрыв увеличивающейся вследствие поступления воды клетки. Кроме того, клеточную стенку преодолевают вода и растворенные в ней вещества, прежде чем попасть в цитоплазму или при выходе из нее, при этом по клеточным стенкам вода транспортируется быстрее, чем по цитоплазме.

Подмембранный комплекс представлен элементами цитоскелета, образующими сеть на внутренней поверхности плазмалеммы и прикрепленными к ней при помощи особых якорных белков. У многих одноклеточных животных поверхностный слой цитоплазмы, эти элементы цитоскелета, настолько уплотнены, что образует гибкую и упругую структуру — *пелликулу*.

Цитоплазма (от греч. *kytos* — клетка и *plasma* — вылепленное, оформленное) — это внутреннее содержимое клетки. В нее погружены все органеллы клетки, ядро и разнообразные продукты жизнедеятельности. Цитоплазма связывает все части клетки между собой, в ней протекают многочисленные реакции обмена веществ. Цитоплазма отделяется от окружающей среды и делится на отсеки мембранами, то есть клеткам присуще мембранное строение.

Жидкая часть цитоплазмы без органоидов называется *гиалоплазмой*. Гиалоплазма, или цитозоль, — матрикс (основное вещество) цитоплазмы,

представляющий собой коллоидный раствор — своеобразную взвесь достаточно крупных частиц, например, белков, окруженных диполями молекул воды. Осаждения этой взвеси не происходит вследствие того, что частицы имеют одинаковый заряд и отталкиваются друг от друга.

Цитоплазма может находиться в двух состояниях — золя и геля. Золь — это полужидкое, киселеобразное состояние цитоплазмы, при котором процессы жизнедеятельности протекают наиболее интенсивно, а гель — более плотное, студнеобразное состояние, затрудняющее протекание химических реакций и транспорт веществ.

Органеллы. Органеллами называются постоянные компоненты клетки, которые выполняют определенные функции. По особенностям строения их делят на мембранные и немембранные. Мембранные органеллы, в свою очередь, относят к одномонобманным (эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи и лизосомы) или двумембранным (митохондрии, пластыды и ядро). Немембранными органеллами являются рибосомы, микротрубочки, микрофиламенты, промежуточные филаменты и клеточный центр.

Ядро — крупная двумембранная органелла диаметром около 5 мкм, лежащая в центре клетки или на ее периферии. Форма ядра чаще сферическая или эллипсоидная, хотя имеются также палочковидные, веретеновидные, бобовидные, лопастные и даже сегментированные ядра. Большинство клеток имеет одно ядро, но, например, в клетках печени и сердца их может быть два, а в ряде нейронов — до 15.

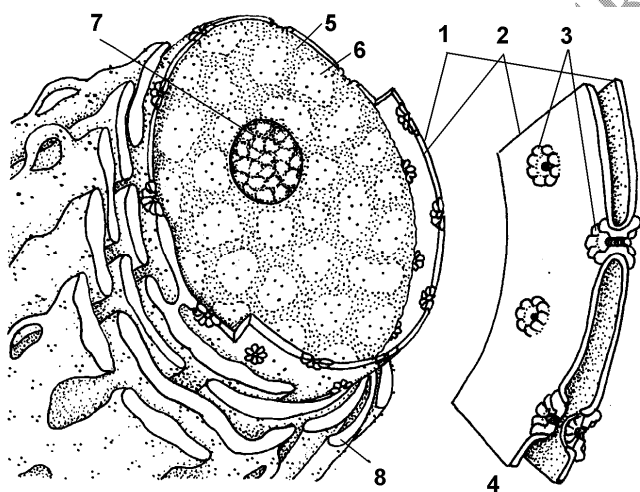


Рис. 4. Строение ядра.

1 — наружная мембрана; 2 — внутренняя мембрана; 3 — ядерная пора; 4 — ядерная оболочка; 5 — гетерохроматин; 6 — эухроматин; 7 — ядрышко; 8 — гранулярная ЭПС.

Ядро отделено от цитоплазмы ядерной оболочкой, а его внутреннее пространство заполнено хроматином, ядрышком, ядерным белковым матриксом и ядерным соком, или нуклеоплазмой (кариоплазмой). Ядро выполняет такие важнейшие функции, как хранение и передача наследственной информации, а также контроль жизнедеятельности клетки.

Ядерная оболочка образована двумя мембранами — наружной и внутренней, пространство между которыми называется перинуклеарным. Оно сообщается с полостью гранулярной ЭПС, а

наружная мембрана ядра может непосредственно переходить в мембрану гранулярной ЭПС и нести рибосомы. Ядерная оболочка пронизана многочисленными ядерными порами, в области которых наружная и внутренняя мембраны смыкаются. В отверстие ядерной поры встроен сложный

белковые образования — поровые комплексы, обеспечивающие избирательный транспорт белков, различных видов РНК и субъединиц рибосом.

Каркас ядра образован *ядерным белковым матриксом*, к которому относят белковые сети ядра и ядрышка, а также белки *ядерной ламины*, формирующие сеть на внутренней поверхности ядерной оболочки и придающие ядру форму и объем.

Нуклеоплазмой называют жидкое содержимое ядра, в которое погружены хроматин и ядрышко. Она представляет собой коллоидный раствор, по химическому составу напоминающий гиалоплазму. Функции нуклеоплазмы, как и гиалоплазмы, состоят в обеспечении взаимосвязи всех структурных компонентов ядра и осуществлении ряда ферментных реакций.

Хроматин (от греч. *chroma* — цвет, краска) — это совокупность тонких нитей и гранул, погруженных в нуклеоплазму. Он выявляется только при окрашивании, так как коэффициенты преломления хроматина и нуклеоплазмы приблизительно одинаковы. Нитчатый компонент хроматина называют *эухроматином*, а гранулярный — *гетерохроматином*. Эухроматин слабо уплотнен, поскольку с него считывается наследственная информация, тогда как более спирализованный гетерохроматин является генетически неактивным. Различают два типа гетерохроматина — *конститутивный* и *факультативный*. Первый из них не деспирализуется ни при каких условиях, тогда как второй может при необходимости переходить в эухроматин.

Хроматин представляет собой структурное видоизменение хромосом в неделящемся ядре. Таким образом, хромосомы постоянно присутствуют в ядре, изменяется лишь их состояние в зависимости от функции, которую ядро выполняет в данный момент.

В состав хроматина в основном входят белки-нуклеопротейны (дезоксирибонуклеопротейны и рибонуклеопротейны), а также ферменты, важнейшие из которых связаны с синтезом нуклеиновых кислот, и некоторые другие вещества.

Функции хроматина состоят, во-первых, в синтезе специфических для данного организма нуклеиновых кислот, которые направляют синтез специфических белков, во-вторых, в передаче наследственных свойств от материнской клетки дочерним, для чего хроматиновые нити в процессе деления упаковываются в хромосомы.

Ядрышко — сферическое немембранное образование диаметром 1—3 мкм. Его содержимое неоднородно: в ядрышке выявляются фибриллы, гранулы, хроматин и белковый сетчатый матрикс. Оно формируется на особых участках ряда хромосом, т.н. ядрышковых организаторах, в которых закодирована информация о структуре рРНК и белках рибосом. Ядрышко в ядре часто одно, однако в тех клетках, где происходят интенсивные процессы жизнедеятельности, ядрышек может быть два и более. Функция ядрышек заключается в синтезе рРНК, сборке субъединиц рибосом и фермента теломеразы путем объединения РНК с белками, поступающими из цитоплазмы, а также в созревании ряда тРНК.

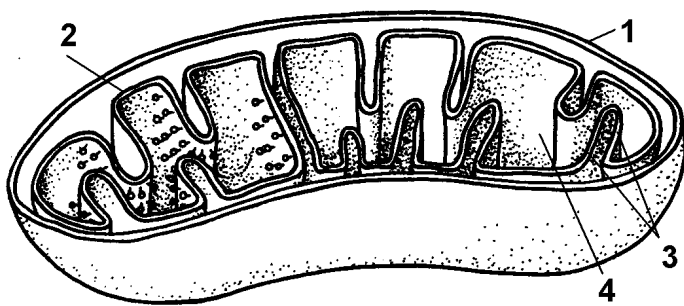


Рис. 5. Строение митохондрии.

1 — наружная мембрана; 2 — внутренняя мембрана; 3 — криста; 4 — матрикс.

Митохондрии (от греч. *mitos* — нить, *chondrion* — зернышко) — двумембранные органеллы округлой, овальной или палочковидной формы, хотя встречаются и спиралевидные (в сперматозоидах), и иной формы. Диаметр митохондрий составляет до 1 мкм, а длина — до 7 мкм. Количество митохондрий в клетке может колебаться от 1—3 до 500000. Они скапливаются в тех

участках цитоплазмы, где возникает потребность в АТФ: вблизи жгутиков и ресничек, синапсов и т.д. Наружная мембрана митохондрий гладкая, а внутренняя образует многочисленные гребневидные выросты — *кристы*, увеличивающие площадь поверхности для протекания химических реакций. На ней расположены многочисленные белковые комплексы, составляющие так называемую дыхательную цепь, а также грибовидные ферменты АТФ-синтетазы. Пространство внутри митохондрий заполнено полужидким *матриksom* с высоким содержанием ферментов. В матрикс погружены кольцевые молекулы ДНК и рибосомы. Митохондрии выполняют энергетическую функцию: в них протекает аэробный этап дыхания, сопровождающийся образованием значительного количества АТФ.

Пластиды (от греч. *plastides* — создающие, образующие) — крупные двумембранные органеллы, характерные только для растительных клеток. Внутреннее пространство пластид заполнено *стромой*, или *матриksom*, в который погружены более или менее развитая система внутренних мембран — *ламелл*, а также кольцевые молекулы ДНК и рибосомы. Ламеллы образуют

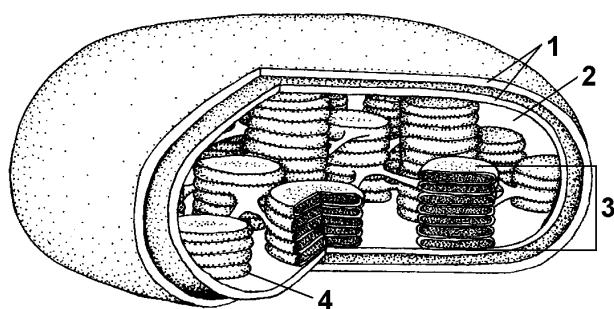


Рис. 6. Строение хлоропласта.

1 — наружная и внутренняя мембраны; 2 — строма; 3 — грана; 4 — тилакоид.

многочисленные дисковидные мешочки — *тилакоиды*, собранные в стопки — *грana*. Различают три основных типа пластид: хлоропласты, хромопласты и лейкопласты. Все они развиваются из зачаточных пластид — пропластид, имеющих в каждой вновь образовавшейся растительной клетке.

Хлоропласты — зеленые пластиды диаметром 3—10 мкм, хорошо различимые под

микроскопом. В основном они имеют овальную или эллипсоидную форму. Окраска хлоропластов обусловлена зеленым пигментом хлорофиллом. Основной функцией хлоропластов является фотосинтез.

Хромопласты — желтые, оранжевые и красные пластиды, которые содержат пигменты каротиноиды. Хромопласты придают окраску цветкам и плодам растений, привлекая опылителей и распространителей семян и плодов.

Лейкопласты — белые или бесцветные пластиды в основном округлой или овальной формы. Они распространены в нефотосинтезирующих частях растений, например, в коже листа, клубнях картофеля и т.д. В них откладываются в запас питательные вещества, чаще всего крахмал.

Пластиды и митохондрии являются полуавтономными органеллами клетки в связи с тем, что они имеют собственные кольцевые молекулы ДНК и рибосомы, осуществляют синтез белка и делятся независимо от деления клеток. Эти особенности объясняются происхождением этих органелл от одноклеточных прокариотических организмов. Однако «самостоятельность» митохондрий и пластид является ограниченной, так как их ДНК содержит слишком мало генов для свободного существования, остальная же информация закодирована в хромосомах ядра, что позволяет ему контролировать эти органеллы. Совокупность генов митохондриальной и пластидной ДНК называется цитоплазматической наследственностью, так как они передаются чаще всего от материнского организма. Рибосомы митохондрий и пластид относятся к прокариотическому типу, их обозначают 70S.

Эндоплазматическая сеть (ЭПС), или эндоплазматический ретикулум (ЭР), — это одномембранная органелла, представляющая собой трехмерную сеть мембранных полостей — *цистерн* — и канальцев, занимающих до 30% содержимого цитоплазмы. Различают два вида ЭПС — гранулярную, или шероховатую, и агранулярную, или гладкую. Мембраны *гранулярной*, или *шероховатой*, ЭПС несут рибосомы, на ней происходит синтез белка. Она расположена в непосредственной близости к ядру, а далее ее мембраны переходят во второй тип ЭПС. *Агранулярная*, или *гладкая*, ЭПС лишена рибосом. Ее функция — синтез липидов

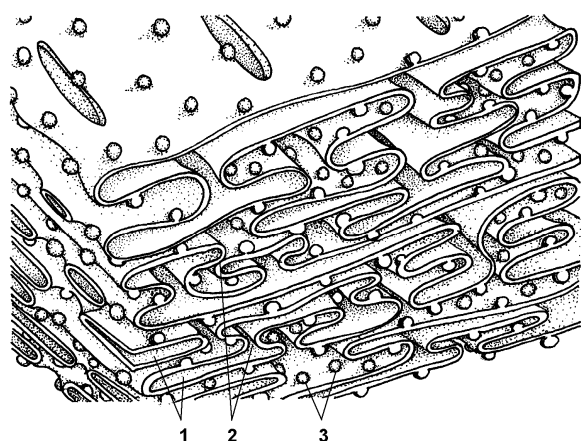


Рис. 7. Строение гранулярной ЭПС.

1 — цистерны; 2 — канальцы;
3 — рибосомы.

и углеводов, накопление ионов кальция, обезвреживание токсических веществ, а также сборка большинства мембран клетки. Гладкая ЭПС сильно развита в клетках печени — гепатоцитах — и волокнах скелетных мышц. В гепатоцитах особую роль играет способность гладкой ЭПС обезвреживать токсины, тогда как ЭПС мышечных волокон, или *саркоплазматический ретикулум*, накапливает значительные количества кальция, необходимые для мышечного сокращения. Вещества, синтезированные в ЭПС, транспортируются в аппарат Гольджи.

Аппарат Гольджи, или **комплекс Гольджи**, — одномембранная органелла, которая представляет собой одиночную стопку плоских дисковидных цистерн — *диктиосому* — или несколько десятков связанных между собой диктиосом. На расширенном

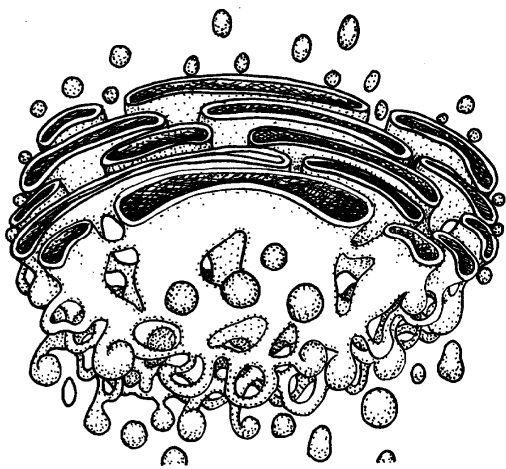


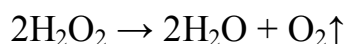
Рис. 8. Диктиосома аппарата Гольджи.

краю каждой диктиосомы можно различить сеть из трубочек и множество пузырьков. Диаметр цистерн составляет до 2 мкм, а мелких пузырьков — около 20—30 нм. Располагается аппарат Гольджи в основном вблизи ядра и клеточного центра. На один полюс диктиосомы постоянно поступают вещества из ЭПС, а на противоположном полюсе, после химических превращений, они упаковываются в пузырьки и направляются в другие части клетки. Основными функциями комплекса Гольджи являются синтез полисахаридов, модификация белков (сборка сложных белков), образование лизосом, а

также выведение секретов из клетки в процессе экзоцитоза. Свое название аппарат Гольджи получил в честь итальянского учёного Камилло Гольджи, впервые обнаружившего данную органеллу (1898 г.).

Лизосомы (от греч. *lysis* — разложение, распад, растворение и *soma* — тело) — небольшие одномембранные органеллы до 1 мкм в диаметре, которые содержат ферменты расщепления белков, липидов, нуклеиновых кислот и других соединений и структур клетки. Внутреннее содержимое лизосом всегда имеет кислую реакцию. Различают четыре типа лизосом: первичные и вторичные лизосомы, аутолизосомы и остаточные тельца. К *первичным* относят вновь образовавшиеся в аппарате Гольджи лизосомы. Впоследствии они сливаются с фагоцитозными или пиноцитозными пузырьками и превращаются во *вторичные лизосомы*, или *фаголизосомы* (пищеварительные вакуоли). По окончании процесса фагоцитоза непереваренное содержимое этих пузырьков формирует *остаточное тельце*. В процессе переваривания фрагмента клетки ферментами собственных лизосом формируются *аутолизосомы*. Недавно была открыта роль лизосом в процессах самоуничтожения клетки — *некроза*.

Пероксисомы представляют собой сферические одномембранные органеллы, содержимое которых зачастую имеет вид кристаллов или гранул. Их диаметр редко достигает 0,5 мкм. Пероксисомы имеются в каждой вновь образовавшейся клетке, а их число увеличивается в результате деления этих органелл. Ферменты пероксисом способны осуществлять множество реакций окисления с участием кислорода, в том числе окисление липидов и обезвреживание этанола. В процессе окисления образуется токсичный для клетки пероксид водорода (H_2O_2), который расщепляется ферментами самой пероксисомы — каталазой или пероксидазой:



Это свойство каталазы и пероксидазы положено в основу обработки ран 3%-ным раствором H_2O_2 , поскольку бурно выделяющийся в процессе расщепления молекулярный кислород не только губителен для попадающих на раневую поверхность микроорганизмов, но и запускает реакции свертывания крови.

Вакуоль (от фр. *вакуоль* или лат. *вакуум* — пустой) — это полость в цитоплазме растительных и животных клеток растений, животных и грибов, ограниченная мембраной и заполненная жидкостью. В клетках простейших обнаруживаются сократительные и пищеварительные вакуоли. Первые осуществляют процессы осморегуляции, т.е. поддерживают водно-солевой баланс, тогда как вторые принимают участие в процессе фагоцитоза. У многоклеточных животных в основном встречаются пищеварительные вакуоли.

В растительных клетках вакуоли являются постоянными компонентами клетки, они окружены специальной мембраной — *тонопластом* — и заполнены клеточным соком. Мембрана, окружающая вакуоль, по химическому составу, строению и выполняемым функциям близка к плазмалемме. *Клеточный сок* представляет собой водный раствор различных неорганических и органических веществ, в том числе минеральных солей, органических кислот, углеводов, белков, гликозидов, алкалоидов и др. Вакуоль может занимать до 90% объема клетки и оттеснять на периферию ядро. Эта часть клетки выполняет запасную, выделительную, осмотическую, защитную, лизосомную и другие функции, поскольку в ней накапливаются питательные вещества и отходы жизнедеятельности, она обеспечивает поступление воды и поддержание формы и объема клетки, а также содержит ферменты расщепления многих компонентов клетки. К тому же биологически активные вещества вакуолей способны препятствовать поеданию этих растений многими животными.

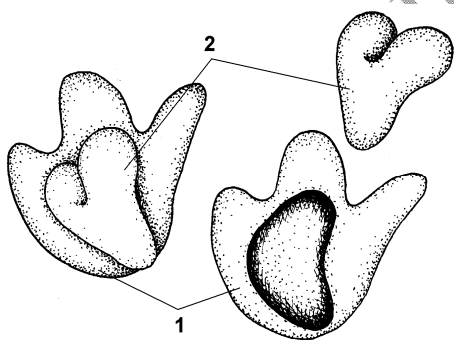


Рис. 9. Строение рибосомы:
1 — большая субъединица; 2 — малая субъединица

Рибосомы — небольшие немембранные органеллы диаметром 15—25 мкм, состоящие из двух субъединиц — большой и малой. Химический состав обеих субъединиц крайне прост: они содержат только рРНК и белки. Свободные рибосомы цитоплазмы и рибосомы гранулярного ЭПС крупнее рибосом прокариот, пластид и митохондрий, по скорости осаждения при центрифугировании их относят к 80S рибосомам. Соответственно, их большая субъединица имеет скорость осаждения 60S, а малая — 40S. 80S рибосомы собираются в ядрышке, а затем транспортируются в цитоплазму.

Рибосомы прокариот, митохондрий и пластид относят к 70S рибосомам: большая субъединица имеет скорость осаждения 50S, а малая — 30S.

Количество рибосом в клетке может достигать нескольких десятков миллионов: в цитоплазме, митохондриях и пластидах они находятся в

свободном состоянии, а на шероховатой ЭПС — в связанном. Они принимают участие в синтезе белка, в частности, осуществляют процесс трансляции — биосинтез полипептидной цепи на молекуле иРНК. На свободных рибосомах синтезируются белки гиалоплазмы, митохондрий, пластид и собственные белки рибосом, тогда как на прикрепленных к шероховатой ЭПС рибосомах осуществляется трансляция белков для выведения из клеток, сборки мембран, образования лизосом и вакуолей.

Рибосомы могут находиться в гиалоплазме поодиночке или собираться в группы при одновременном синтезе на одной иРНК сразу нескольких полипептидных цепей. Такие группы рибосом называются *полирибосомами*, или *полисомами*.

Микротрубочки представляют собой полые цилиндрические немембранные органеллы диаметром около 25 нм, которые пронизывают всю цитоплазму клетки. Они образованы многочисленными молекулами белка тубулина, которые сначала формируют 13 нитей — протофиламентов, напоминающих бусы, а затем собираются в микротрубочку. Микротрубочки постоянно собираются и разбираются, в связи с этим у них выделяют два полюса: быстрорастущий (+)-конец и медленно растущий (–)-конец. Эти органеллы образуют цитоплазматическую сеть, которая придает клетке форму и объем, связывают плазматическую мембрану с другими частями клетки, направляют транспорт веществ по клетке, принимают участие в движении клетки и внутриклеточных компонентов, а также в делении генетического материала. Движение пузырьков и органелл вдоль микротрубочек осуществляется с помощью моторных белков: кинезинов и динеина. Кинезины обеспечивают движение к (+)-концу, а динеин — к (–)-концу. Микротрубочки входят в состав центриолей клеточного центра и базальных телец, а также органелл движения — жгутиков и ресничек.

Микрофиламенты, или **микронити**, образованы двумя оплетающими друг друга «бусами» из белка актина. Они могут формировать трехмерную сеть, особенно в уплотненном слое цитоплазмы под плазмалеммой. Как и у микротрубочек, у микрофиламентов имеются (+)- и (–)-концы. Диаметр этих органелл составляет около 7 нм. Микрофиламенты придают клетке форму и объем, например, образуют микроворсинки клеток кишечного эпителия и стереоцилии чувствительных клеток, обеспечивают амебоидное движение клетки и мышечное сокращение (во взаимодействии с миозиновыми толстыми филаментами), принимают участие в делении цитоплазмы клетки и ее движении.

Промежуточные филаменты внешне напоминают канат из двух переплетенных нитевидных молекул белка. Диаметр этих органелл составляет 8—12 нм. Белки промежуточных филаментов в эпителиальных клетках относятся к кератинам, тогда как образующие такие же структуры белки ядерной ламина являются ламинами. Функция промежуточных филаментов, по-видимому, заключается в поддержании структуры клетки и ядра, закоривании последнего и противостоянии растягивающим нагрузкам.

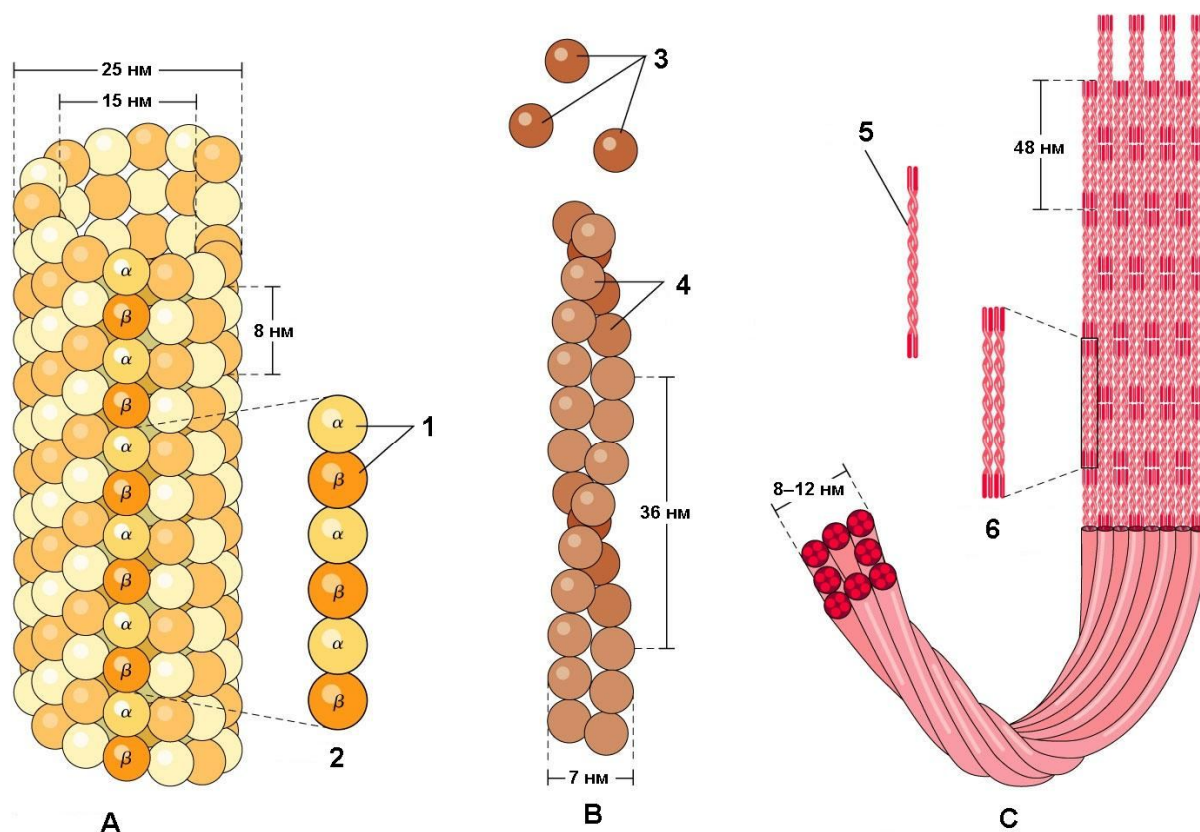


Рис. 10. Элементы цитоскелета:

А — микротрубочка; В — микрофиламент; С — промежуточный филамент; 1 — субъединица тубулина; 2 — протофиламент; 3 — момеры актина; 4 — полимеризованный актин; 5 — димер из двух закрученных молекул белка промежуточного филамента; 6 — протофиламент, образованный двумя димерами.

Микротрубочки, микрофиламенты и промежуточные филаменты образуют внутренний скелет клетки — **цитоскелет**, представляющий собой сложную сеть волокон, не только обеспечивающих механическую опору для плазматической мембраны, но и определяющих форму клетки, расположение клеточных органелл и их перемещение в процессе деления клетки.

Клеточный центр является немембранной органеллой, занимающей геометрический центр животной клетки вблизи ядра и аппарата Гольджи. Он принимает участие в процессах сборки микротрубочек. Клеточный центр образован двумя **центриолями**, лежащими во взаимно перпендикулярных плоскостях, и **лучистой сферой**, или **центросферой**, из микротрубочек. Каждая центриоль образована девятью группами слившихся по три микротрубочек — триплетами — и скрепляющими их нетубулиновыми белками. Систему микротрубочек центриоли обычно описывают формулой $9+0$, или $(9 \times 3)+0$, подчеркивая отсутствие микротрубочек в ее центральной части. Длина центриоли составляет $0,3—0,5$ мкм, а диаметр — около $0,15$ мкм. Центриоли клеточного центра способны к самоудвоению перед делением клетки. Одиночные центриоли также лежат в основании жгутиков и ресничек.

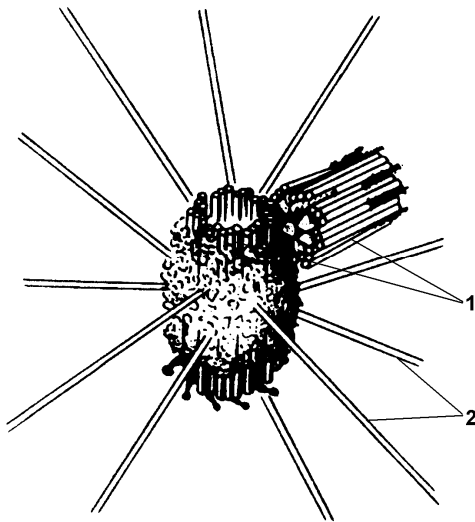


Рис. 11. Строение клеточного центра:

1 — центриоли; 2 — микротрубочки центросферы.

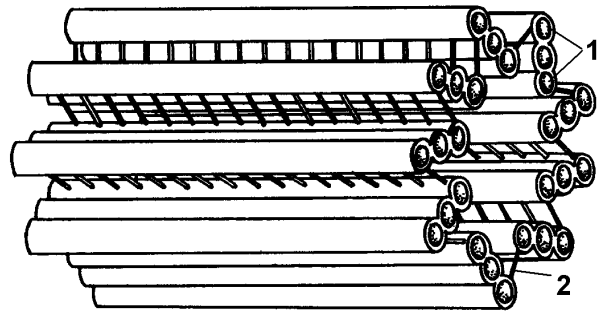


Рис. 12. Строение центриоли:

1 — триплет микротрубочек;
2 — тубулиновые белки

Органеллы движения. *Жгутики* и *реснички* представляют собой цилиндрические выросты цитоплазмы, покрытые плазмалеммой. Диаметр этих органелл составляет около 0,25 мкм, тогда как по длине они различаются: реснички достигают 10—15 мкм в длину, а жгутики — 20—200 мкм. Кроме того, жгутики обычно одиночные, а реснички могут покрывать всю поверхность клетки.

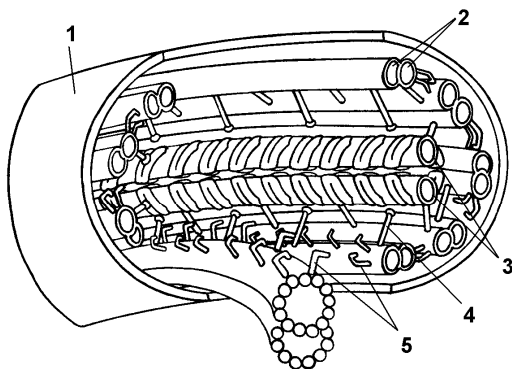


Рис. 13. Строение жгутика:

1 — плазмалемма; 2 — дублет периферических микротрубочек;
3 — центральные микротрубочки;
4 — белковые «спицы»;
5 — динеиновые «ручки».

В выступающей части реснички или жгутика расположена их осевая структура — *аксонема*, а в цитоплазме под ней залегает *базальное тельце* с направленными вглубь клетки *исчерченными корешками*. Основу аксонемы образуют девять пар (дублетов) микротрубочек, расположенных по периферии, и две свободные микротрубочки в центре, а также целый ряд других белковых структур. В целом систему микротрубочек реснички описывают как 9+2 или (9x2)+2. Согласованное колебание микротрубочек обеспечивается за счет взаимодействия соседних дублетов периферических микротрубочек при помощи белков-динеинов, образующих поперечные связки — «ручки», и способных расщеплять АТФ.

Базальное тельце, или *кинетосома*, лежащая в основании жгутика или реснички, представляет собой одиночную центриоль, функцией которой является возобновление утраченной органеллы.

За счет строго направленных движений жгутиков и ресничек осуществляется не только движение одноклеточных животных, водорослей и сперматозоидов, но и происходит очистка дыхательных путей, а яйцеклетка

продвигается по маточным трубам, поскольку дыхательные пути и маточные трубы у человека выстланы реснитчатым эпителием.

Включения. Включениями называют непостоянные компоненты клетки, которые образуются и исчезают в процессе ее жизнедеятельности. К ним относят как запасные вещества, например, гранулы гликогена в клетках животных и грибов, гранулы волютина у бактерий, зерна крахмала в растительных клетках, капли жира во всех типах клеток, так и отходы жизнедеятельности, в частности, гранулы пигмента липофусцина, накапливающиеся в клетках кожи в процессе старения. По агрегатному состоянию включения могут быть поделены на твердые (гранулы гликогена) и жидкие (капли жира).

Клетки животных, растений и грибов. Клеткам растений, животных и грибов присущи все характеристики эукариотических клеток, однако особенности жизнедеятельности этих организмов накладывают определенный отпечаток на их строение (табл. 1). Так, клетки растений содержат пластиды, в частности, хлоропласты, которые обуславливают их способность к фотосинтезу, тогда как у остальных организмов эти органеллы не встречаются. Напротив, в животных клетках можно обнаружить клеточный центр, который отсутствует у остальных групп организмов.

Таблица 1

**Сравнительная характеристика строения
клеток растений, животных и грибов**

Признак	Животные	Грибы	Растения
Способ питания	гетеротрофное	гетеротрофное	автотрофное
Тип клеток	эукариотический	эукариотический	эукариотический
Локализация ДНК	ядро, митохондрии	ядро, митохондрии	ядро, митохондрии, пластиды
Поверхностный аппарат: – надмембранный комплекс – плазматическая мембрана – подмембранный комплекс	гликокалик есть есть	клеточная стенка с хитином есть есть	клеточная стенка с целлюлозой есть есть
Цитоплазма: – гиалоплазма – органеллы – вакуоли – органеллы движения – включения	есть есть мембранные и немембранные, в т.ч. клеточный центр сократительные, пищеварительные жгутики и реснички гликоген, жир	есть есть мембранные и немембранные иногда жгутики и реснички гликоген	есть есть мембранные и немембранные, в т.ч. пластиды центральная вакуоль с клеточным соком жгутики и реснички крахмал, жир

Растительные клетки обыкновенно содержат крупные вакуоли, наполненные клеточным соком, и, хотя в клетках животных и грибов они также могут встречаться, они имеют совершенно иное происхождение и выполняют иные функции. Основным запасным веществом, встречающимся в виде твердых включений, у растений является крахмал, у животных и грибов — гликоген, а у бактерий — волютин.

Еще одним отличительным признаком этих групп организмов является организация поверхностного аппарата: у животных клеточная стенка отсутствует, а их плазматическая мембрана покрыта лишь тонким гликокаликсом, тогда как у остальных она имеется. Это целиком объяснимо, поскольку способ питания животных связан с захватом пищевых частиц в процессе фагоцитоза, а наличие клеточной стенки лишило бы их этой возможности. Химическая природа вещества, входящего в состав клеточной стенки, неодинакова у различных групп живых организмов: если у растений это целлюлоза, то у грибов — хитин.

Контрольные вопросы

1. Формы жизни: неклеточная и клеточная. Неклеточные формы жизни: вирусы, вирионы, прионы.
2. Основные положения современной клеточной теории.
3. Особенности строения прокариотических клеток.
4. Общий план строения эукариотической клетки.
5. Поверхностный аппарат эукариотической клетки.
6. Строение и функции цитоплазматической мембраны.
7. Строение ядра и функции его основных компонентов.
8. Цитоплазма, ее организация и функции. Клеточные включения.
9. Строение и функции двумембранных органелл эукариотической клетки.
10. Сравнительная характеристика ЭПС и аппарата Гольджи.
11. Особенности строения и функций лизосом, пероксисом и вакуолей.
12. Немембранные органеллы эукариотической клетки: рибосомы, микротрубочки, микрофиламенты, промежуточные филаменты и клеточный центр.
13. Строение и функции органелл движения: жгутики и реснички.
14. Сравнительная характеристика строения клеток растений, животных и грибов.

Тестовые задания для проверки качества усвоения материала

Выберите один правильный ответ:

1. Обмен веществ и энергии является одним из свойств живого. Организмы какой группы неспособны синтезировать АТФ?

- A. растения
- B. животные
- C. грибы
- D. вирусы
- E. бактерии

2. Клеткам каких организмов присущи следующие признаки: наличие ядра, клеточного центра, гликогена и гликокаликса?

- A. грибов
- B. растений
- C. животных
- D. бактерий
- E. вирусов

3. Фосфолипиды являются основной составляющей клеточных мембран. Какие свойства этих соединений обуславливают их доминирование в мембране?

- A. Способность к ковалентному связыванию с белками
- B. Наличие гидрофобных и гидрофильных участков
- C. Наличие положительного и отрицательного зарядов
- D. Вытеснение ими холестерина
- E. Их преобладание в потребляемой пище

4. Циркуляторные системы в организме человека обеспечивают транспорт веществ. Какая органелла эукариотической клетки осуществляет такую же функцию?

- A. аппарат Гольджи
- B. эндоплазматическая сеть
- C. лизосома
- D. митохондрия
- E. ядро

5. Какой из следующих органоидов имеет липопротеиновые мембраны, ферменты энергетического обмена и рибосомы, подобные обнаруживаемым в бактериях?

- A. гранулярная эндоплазматическая сеть
- B. комплекс Гольджи
- C. ядро
- D. хлоропласт
- E. митохондрия

Эталоны ответов: 1. D; 2. C; 3. B; 4. A; 5. E.

Ситуационные задачи

1. На электронограмме клеток печени пациента, употребляющего в пищу избыточные количества липидов, обнаружено повышенное количество окруженных мембраной образований сферической или овальной формы диаметром 0,1—1,5 мкм. Что это за образования? Какие функции они выполняют? Чем обусловлено увеличение их числа?
2. В больницу доставлен молодой ученый-генетик, случайно отравившийся колхицином — ядом, вызывающим разборку микротрубочек. Какие нарушения строения органелл и функций клеток его организма будут обнаружены?

Литература:

Основная

1. Биология / Под ред. В.Н. Ярыгина. — М.: Высшая школа, 2001. — 432с.
2. Медична біологія / В.П. Пішак, Ю.І. Бажора та ін./ Під ред. В.П. Пішака, Ю.І. Бажори. — Вінниця: Нова книга, 2004. — 656 с.
3. Слюсарев А.О., Жукова С.В. Біологія. — К.: Вища шк., 1992. — 422 с.
4. Ченцов Ю.С. Цитология: Уч. для вузов. — М.: Мед. информ. агентство, 2010. — 368 с.

Дополнительная

1. Воробьев А.А., Макаров В.В. Прионные инфекции: важнейшие медицинские и ветеринарные аспекты // Вестник РАМН. — 1997. — №6. — С. 3—11.
2. Лысак, В.В. Микробиология: учеб. пособие. — Минск: БГУ, 2007. —
3. Молекулярная биология клетки: В 3-х т. Т. 1 / Б. Албертс, Д. Брей, Дж. Льюис и др. — М.: Мир, 1994. — 517 с.
4. Молекулярная биология клетки: В 3-х т. Т. 2 / Б. Албертс, Д. Брей, Дж. Льюис и др. — М.: Мир, 1993. — 539 с.
5. Руководство к практическим занятиям по биологии: Учеб. пособие для студ. сред. учеб. заведений / Н.В. Чебышев, А.Н. Демченко, М.В. Козарь. — М.: Издательский центр “Академия”, 2004. — 160 с.
6. Kovacs G.G., Budka H. Molecular Pathology of Human Prion Diseases // Int. J. Mol. Sci. — 2009. — Vol. 10, №3. — P. 976—999.
7. Molecular biology of the cell / B. Alberts, A. Johnson, J. Lewis et al. — N.-Y.: Garland Science, 2008. — 1725 p.
8. Molecular Cell Biology / H. Lodish, A. Berk, S. L. Zipursky et al. — W.H. Freeman & Company, 2003. — 973 p.
9. Molecular Pathology of the Prions / Ed. H.F. Baker // Methods in Molecular Medicine. — 2001. — Vol. 59. — 267 p.