

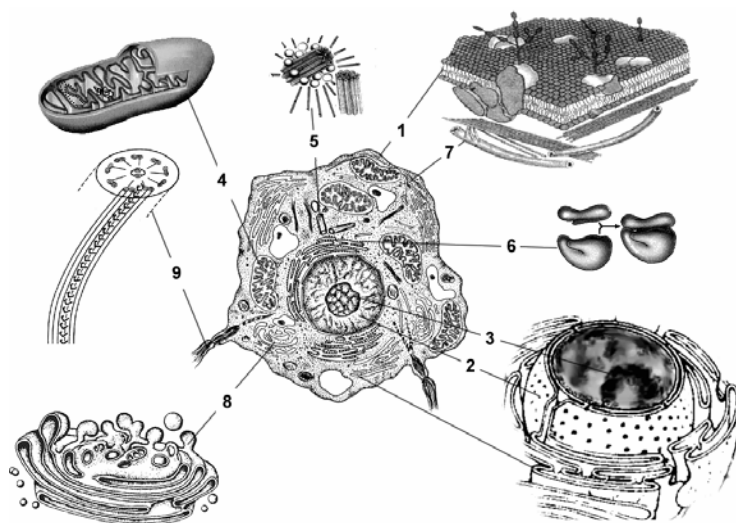
МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра медицинской биологии и генетики

С. В. ОВСЕПЯН, С. Н. БОБРОВА

СТРОЕНИЕ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КЛЕТОК ЭУКАРИОТ

Учебно-методическое пособие
для практических занятий по цитологии
для слушателей подготовительных курсов факультета по подготовке
специалистов для зарубежных стран медицинских вузов



Гомель
ГомГМУ
2014

УДК 576.3 (072)

ББК 28.05я7

О-34

Рецензенты:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
заведующая кафедрой физиологии человека и животных
Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины

Л. А. Евтухова;

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
заведующий сектором лесовосстановления
Института леса НАН Беларуси

П. И. Волович

Овсебян, С. В.

О-34 Строение и химический состав клеток эукариот: учеб.-метод. пособие для практических занятий по цитологии для слушателей подготовительных курсов факультета по подготовке специалистов для зарубежных стран медицинских вузов / С. В. Овсебян, С. Н. Боброва. — Гомель: ГомГМУ, 2014. — 48 с.

ISBN 978-985-506-621-8

Учебно-методическое пособие предназначено для слушателей подготовительных курсов факультета по подготовке специалистов для зарубежных стран медицинских вузов. Материал пособия изложен в соответствии с программой по биологии для слушателей факультета по подготовке специалистов для зарубежных стран. Его цель — помочь учащимся приобрести знания по цитологии, необходимые для успешной сдачи вступительных экзаменов и для дальнейшей учебы в качестве студентов.

Утверждено и рекомендовано к изданию научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет» 30 декабря 2013 г., протокол № 10.

УДК 576.3 (072)

ББК 28.05я7

ISBN 978-985-506-621-8

© Учреждение образования
«Гомельский государственный
медицинский университет», 2014

ХИМИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ КЛЕТКИ

Как известно, весь окружающий мир состоит из атомов химических элементов, которые во многих веществах объединены в определенном порядке в молекулы.

В состав живых организмов постоянно входят 15 из 81 стабильного химического элемента периодической системы Д. И. Менделеева, встречающегося в природе. Еще 8–10 элементов присутствуют не во всех, а только в некоторых организмах.

Химические элементы, содержание которых в живых организмах составляет от десятков процентов до сотых долей процента, называются **макроэлементами**. Живые организмы более чем на 98 % состоят из кислорода, углерода, водорода и азота. Это *основные элементы*. Кроме того, к макроэлементам относятся сера, фосфор, натрий, калий, магний, кальций, хлор.

Элементы, которые содержатся в живых организмах в исключительно малых количествах (менее 0,001 %), составляют группу **микроэлементов**. К ним относятся металлы: железо, цинк, медь, кобальт, марганец и некоторые неметаллы, такие, как йод, селен, фтор и др. (таблица 1).

Процентное содержание того или иного элемента не характеризует степень его важности в организме. Например, йод, содержание которого в норме в организме человека не превышает 0,0001 %, входит в состав гормонов щитовидной железы тироксина и трийодтиронина. Эти гормоны регулируют обмен веществ, влияют на рост, развитие и дифференцировку тканей, на деятельность нервной системы.

Неорганические вещества клетки — вещества, в состав которых не входит углерод, кроме CO, CO₂, H₂CO₃ и карбонатов. В клетках неорганические вещества представлены водой, минеральными солями, а также соответствующими анионами и катионами.

Органические вещества клетки — соединения, в состав которых входит углерод, образуя углеродный скелет (за исключением CO, CO₂, H₂CO₃ и карбонатов). В живых клетках органические вещества представлены белками (10–20 %), липидами (1–5 %), углеводами (0,2–2,0 %), нуклеиновыми кислотами (0,1–0,5 %).

Таблица 1 — Биологическое значение макро- и микроэлементов

Элемент	Символ	Содержание, %	Роль в клетке
Кислород	O	62	Входит в состав воды и органических веществ
Углерод	C	20	Входит в состав всех органических веществ
Водород	H	10	Компонент воды и органических веществ
Азот	N	3,0	Входит в состав аминокислот, белков, НК, АТФ, хлорофилла, витаминов

Продолжение таблицы 1

Элемент	Символ	Содержание, %	Роль в клетке
Кальций	Ca	2,5	Входит в состав клеточной стенки у растений; нерастворимые соли Ca входят в состав костной ткани и зубной эмали позвоночных, раковин моллюсков, коралловых полипов. Активирует свертывание крови и сокращение мышечных волокон. Ионы Ca участвуют в образовании желчи, повышают рефлекторную возбудимость спинного мозга и центра слюноотделения, участвуют в синаптической передаче нервного импульса, активируют ферменты при сокращении поперечно-полосатых мышечных волокон
Фосфор	P	1,0	В виде остатков фосфорной кислоты входит в состав АТФ, нуклеотидов ДНК, РНК, коферментов НАД, НАДФ, ФАД, фосфолипидов, многих ферментов. Входит в состав всех мембранных структур, костной ткани и зубной эмали
Сера	S	0,25	Входит в состав аминокислот (цистеина и метионина), некоторых ферментов, витамина В ₁ (биотина), инсулина, участвует в формировании третичной структуры белка (образование дисульфидных мостиков)
Калий	K	0,25	Содержится в клетке только в ионном виде; участвует в поддержании коллоидных свойств цитоплазмы, процессах фотосинтеза, регуляции водного режима, является компонентом клеточного сока в вакуолях растительных клеток, активирует ферменты белкового синтеза, обуславливает нормальный ритм сердечной деятельности, участвует в проведении нервного импульса
Хлор	Cl	0,2	Преобладает в организмах животных в виде отрицательного иона, является компонентом соляной кислоты в желудочном соке, участвуют в процессах возбуждения и торможения в нервных клетках
Натрий	Na	0,10	Содержится в клетке только в ионном виде; участвует в создании и поддержании биоэлектрического потенциала на мембране (в результате работы натрий-калиевого насоса); участвует в поддержании осмотического потенциала клеток, что обеспечивает поглощение воды из почвы, обуславливает нормальный ритм сердечной деятельности (вместе с ионами K и Ca), влияет на работу почек, поддерживает нормальный ритм сердечной деятельности, влияет на синтез гормонов
Магний	Mg	0,07	Кофактор многих ферментов, активирует энергетический обмен и синтез ДНК. Входит в состав молекул хлорофилла, костей, зубов, в состав ферментов, катализирующих некоторые реакции энергетического и пластического обмена, необходимых для функционирования мышечной, нервной и костной ткани

Окончание таблицы 1

Элемент	Символ	Содержание, %	Роль в клетке
Йод	I	0,01	У позвоночных входит в состав гормонов щитовидной железы — тироксина и трийодтиронина
Железо	Fe	0,01–0,02	Входит в состав цитохромов (ферментов — переносчиков электронов). Участвует в биосинтезе хлорофилла, входит в состав гемоглобина и белка, содержащего запас кислорода в мышцах — миоглобина, участвует в процессах дыхания и фотосинтеза
Медь	Cu	Следы	Входит в состав окислительных ферментов, участвует в синтезе цитохромов. Входит в состав ферментов, участвующих в темновых реакциях фотосинтеза. Участвует в процессах кроветворения, синтеза гемоглобина. У беспозвоночных входит в состав гемоцианинов — белков-переносчиков кислорода; у человека входит в состав фермента, участвующего в синтезе меланина (пигмента кожи)
Марганец	Mn	Следы	Входит в состав некоторых ферментов, участвующих в дыхании, окислении жирных кислот, повышает активность карбоксилазы. Входит в состав ферментов, участвующих в темновых реакциях фотосинтеза и в восстановлении нитратов (ассимиляции азота и процессе фотосинтеза). Входит в состав фосфатаз — ферментов, необходимых для роста костей
Молибден	Mo	Следы	Входит в состав некоторых ферментов, участвующих в процессах связывания атмосферного азота клубеньковыми бактериями. Входит в состав некоторых ферментов, регулирующих работу устьичного аппарата и синтез аминокислот у растений
Кобальт	Co	Следы	Входит в состав витамина B ₁₂ , участвует в фиксации атмосферного азота клубеньковыми бактериями. Принимает участие в синтезе гемоглобина. Недостаток Co приводит к кобальтдефицитной анемии
Бор	B	Следы	Влияет на ростовые процессы растений, активизирует восстановительные ферменты дыхания. Недостаток приводит к отмиранию верхушечных почек, цветков, завязей, проводящих тканей
Цинк	Zn	Следы	Входит в состав некоторых ферментов, участвующих в спиртовом брожении. Входит в состав некоторых ферментов, расщепляющих полипептиды и угольную кислоту; участвует в синтезе растительных гормонов (ауксинов). Входит в состав ферментов, необходимых для нормального роста
Фтор	F	Следы	Входит в состав костей и эмали зубов
Бром			Входит в состав витамина B ₁ — составной части фермента, участвующего в расщеплении пировиноградной кислоты у животных, растений и микроорганизмов

Вода — одно из самых распространенных веществ на Земле. Считают, что жизнь зародилась в воде примерно 3 млрд лет назад и тесно связана с ней. Любой живой организм примерно на 2/3 состоит из воды и почти все процессы жизнедеятельности протекают в водной среде.

В количественном отношении вода занимает первое место среди химических веществ клетки. Ее содержание зависит от вида организма, условий его обитания, вида клеток и тканей и колеблется от 10 % в клетках эмали зуба до 90 % в клетках развивающегося зародыша.

Роль воды в клетке определяется ее химическими и физическими свойствами (таблица 2). Молекула воды имеет нелинейную пространственную структуру. Атомы в молекуле удерживаются посредством *полярных ковалентных связей*, которые связывают один атом кислорода с двумя атомами водорода. Полярность ковалентных связей (неравномерное распределение зарядов) объясняется сильной электроотрицательностью кислорода, который оттягивает на себя электроны из общих электронных пар. На атоме кислорода возникает частичный отрицательный заряд, а на атомах водорода — частичный положительный. В результате этого, хоть молекула воды и не заряжена, она образует *диполь*.

Взаимодействуя между собой, противоположно заряженные полюса молекул воды образуют водородные связи. Энергия этих связей невелика, поэтому они достаточно легко разрушаются и легко образуются. Благодаря образованию водородных связей молекулы воды связаны одна с другой, что обуславливает исходное жидкое состояние воды при нормальных условиях. Именно такое строение молекул воды делает ее хорошим растворителем.

Дипольный характер молекулы воды позволяет ей формировать вокруг белков *сольватную* (водную) оболочку, препятствующую склеиванию их друг с другом. Это *связанная вода*. Она составляет 4–5 % всей воды. Остальная вода — *свободная*, составляющая 95 %, является универсальным растворителем.

Таблица 2 — Свойства воды и их значение для биологических процессов

№ п/п	Свойства	Значение
1	Полярность молекул воды	Формирование вокруг белков сольватной оболочки, препятствующей склеиванию их друг с другом
2	Является универсальным растворителем	Является средой, в которой протекают химические реакции. По отношению к воде вещества бывают: — <i>гидрофильные или водорастворимые</i> (полярные вещества: соли, кислоты, основания; органические соединения, имеющие заряженные участки: спирты, сахара, белки, нуклеиновые кислоты и т. п.); — <i>гидрофобные или водонерастворимые</i> (неполярные вещества жиры, бензин, керосин); — <i>амфифильные</i> — вещества, с которыми вода реагирует частично, так как у них есть и полярные и неполярные группы (некоторые белки, фосфолипиды, олеат натрия)

Окончание таблицы 2

№ п/п	Свойства	Значение
3	Способность вступать в химические реакции	Принимает непосредственное участие в биохимических реакциях: гидролиз белков, жиров, углеводов; фотолиз воды
4	Подвижность молекул	Возможность осмоса
5	Высокая удельная теплоемкость	Для разрыва водородных связей требуется поглотить большое количество энергии. Это свойство обеспечивает поддержание теплового баланса организма при перепадах температуры окружающей среды. Круговорот воды в природе является одним из элементов формирования погоды и климата
6	Высокая теплота парообразования	Молекулы воды способны уносить с собой значительное количество тепла, охлаждая организм. Это свойство проявляется при потоотделении у млекопитающих, тепловой одышке у собак, крокодилов, транспирации у растений, предотвращая их перегрев
7	Высокое поверхностное натяжение	Многие мелкие организмы удерживаются на воде или скользят по ее поверхности. Это свойство имеет значение для передвижения растворов по тканям; кровообращение
8	Высокая теплопроводность	Возможность равномерного распределения тепла между тканями тела
9	Расширение при замерзании (благодаря образованию каждой молекулой четырех водородных связей)	Лед легче воды и образуется на поверхности водоема и выполняет функцию теплоизоляции
10	Прозрачность в видимом участке спектра	Возможность фотосинтеза на небольшой глубине.
11	Практически полная несжимаемость (благодаря силам межмолекулярного сцепления)	Поддержание формы организма
12	Вязкость (благодаря наличию водородных связей)	Смазывающими свойствами обладает синовиальная жидкость в суставах позвоночных, плевральная жидкость плевральной полости, смягчающая трение при дыхательных движениях

Функции воды

Транспортная. Вода обеспечивает передвижение веществ в клетке и организме, поглощение веществ и выведение конечных продуктов обмена.

Метаболическая. Вода является средой для всех биохимических реакций в клетке. Ее молекулы участвуют во многих химических реакциях, например гидролиза полимеров до мономеров (белков — до аминокислот, крахмала — до глюкозы). Вода — исходное вещество, используемое клетками в фотосинтезе: источник свободного кислорода, выделяющегося в атмосферу, и атомарного водорода, необходимого для синтеза органических веществ.

Структурная. Цитоплазма содержит от 10 до 98 % воды в зависимости от типа клеток. У растений вода обуславливает тургор, то есть упругость тканей, а у некоторых животных выполняет опорные функции, являясь гидростатическим скелетом.

Минеральные соли

Для поддержания жизнедеятельности клеток и организма в целом важное значение имеют минеральные соли. В живых организмах они находятся либо в растворенном виде (диссоциированы на ионы), либо в твердом состоянии. Наиболее важны среди ионов катионы K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и анионы HCO_3^- , $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , Cl^- , HSO_4^- . Существенным является не только содержание, но и соотношение ионов в клетке.

Общее содержание неорганических веществ в различных клетках варьирует. Их роль в клетке разнообразна. От наличия HCO_3^- , $H_2PO_4^-$ и HPO_4^{2-} зависят буферные свойства клетки — способность поддерживать слабощелочную реакцию ($pH \approx 7,4$) внеклеточной среды (плазма крови, HCO_3^-) и слабокислую ($pH \approx 6,9$) внутриклеточной среды (анионы фосфорной кислоты). От наличия солей зависят осмотические свойства клетки. Нерастворимые соли (карбонат и фосфат кальция) входят в состав зубов, костей, раковин.

Биополимеры и их свойства

В живых организмах органические вещества представлены молекулами как с относительно низкой молекулярной массой, так и высокомолекулярными, т. е. *макромолекулами* (греч. «*макрос*» — большой).

Высокомолекулярные органические соединения, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся единиц одинакового или различного строения, называются *биополимерами* (греч. «*биос*» — жизнь, «*полис*» — многочисленный).

Структура и процессы жизнедеятельности в живых организмах определяются, прежде всего, биополимерами. К биополимерам относятся полисахариды, белки и нуклеиновые кислоты.

Отдельные единицы полимера называются мономерами.

Момеры (греч. «*монос*» — один) — это относительно небольшие молекулы, которые могут связываться с такими же или подобными им молекулами ковалентной связью. Мономерами полисахаридов являются моносахариды, белков — аминокислоты, нуклеиновых кислот — нуклеотиды.

Реакция взаимодействия между мономерами называется реакцией *полимеризации*, а обратный процесс разделения макромолекулы до мономеров — *гидролизом* (при полимеризации выделяется молекула воды, при гидролизе — вода поглощается).

На свойства и функции биополимеров влияет их *конформация* — взаиморасположение частей макромолекулы в пространстве. Пространст-

венная укладка определяется возникновением слабых связей (водородных, ионных, гидрофобных и др.) между мономерами, расположенными на некотором удалении друг от друга. Для правильной (нативной) конформации необходимы и определенные условия среды (температура, кислотность и др.).

Изменение этих условий, а также влияние инфракрасного, ультрафиолетового излучения, действие тяжелых металлов, органических растворителей и пр., нарушает конформацию. Процесс нарушения природной конформации под влиянием каких-либо факторов называется *денатурацией*. При этом разрываются слабые связи и молекула меняет форму.

Если не нарушена первичная структура молекулы (не разорваны ковалентные связи между мономерами) и восстановлены нормальные условия, денатурация может быть обратимой. Этот процесс носит название *ренатурация*.

Но если действие разрушающего агента продолжительное или очень сильное, происходит разрушение первичной структуры молекулы — *деструкция*. Этот процесс необратим.

Белки — биологические полимеры, мономерами которых являются аминокислоты.

Аминокислоты — низкомолекулярные органические соединения, содержащие одновременно карбоксильную (-COOH) и аминную (-NH₂) группы, которые связаны с одним и тем же атомом углерода (рис.1, А). К этому же атому углерода присоединяется боковая цепь — радикал (R), придающая каждой аминокислоте определенные свойства.

Аминогруппа обладает основными свойствами, а карбоксильная - кислотными. Если аминокислоты имеют одну карбоксильную группу и одну аминогруппу, они называются *нейтральными*. Существуют также *основные* аминокислоты — с более чем одной аминогруппой, и *кислые* — с более чем одной карбоксильной группой.

Известно около 200 аминокислот, встречающихся в живых организмах, но только 20 из них входят в состав белков. Такие аминокислоты называются *белкообразующими*.

У растений все необходимые аминокислоты синтезируются из первичных продуктов фотосинтеза.

Человек и животные не способны синтезировать ряд аминокислот и должны получать их в готовом виде вместе с пищей. Такие аминокислоты называются *незаменимыми*. К ним относятся *лизин, валин, лейцин, изолейцин, треонин, фенилаланин, триптофан, метионин*; для детей незаменимыми являются также *аргинин* и *гистидин*.

В ходе образования белка аминокислоты взаимодействуют между собой, образуя пептидные связи.

Пептидная связь — ковалентная связь между остатком карбоксильной группы одной аминокислоты (-COOH) и остатком аминогруппы другой аминокислоты (-NH₂). В ходе этой реакции выделяется молекула воды (рисунок 1Б).

Если соединяются две аминокислоты, образующаяся молекула представляет собой *дипептид*, а связь -CO-NH- называется пептидной. Если таким образом соединяется 10–15 аминокислот, то образуется *олигопептид* (греч. «*олигос*» — немного).

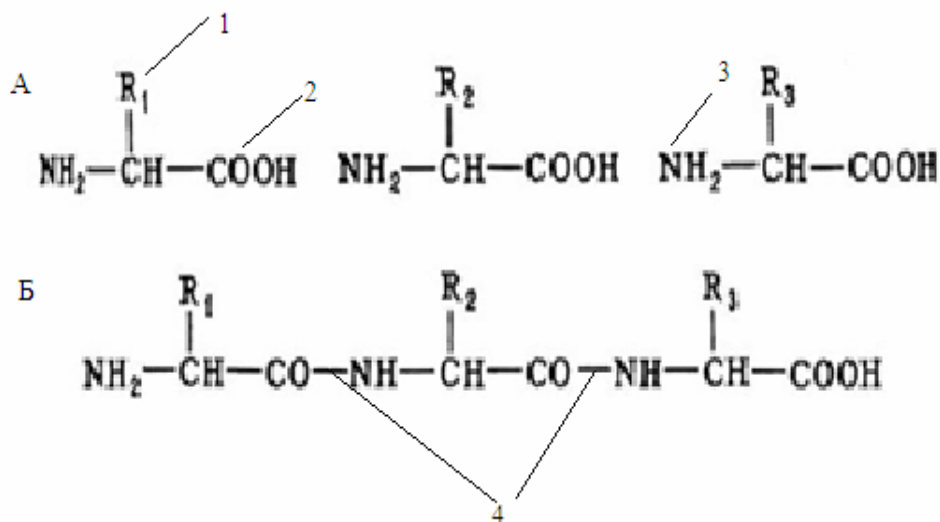


Рисунок 1 — Схема образования пептидных связей:

А — аминокислоты: 1 — боковой радикал; 2 — карбоксильная группа; 3 — аминогруппа; Б — схема образования пептидных связей: 4 — пептидные связи

К олигопептидам относятся, например, гормоны гипофиза окситоцин и вазопрессин, а также брадикинин (пептид боли) и некоторые опиаты, выполняющие функцию обезболивания. *Полипептиды* содержат большое число аминокислот (от 50 до нескольких тысяч). В отличие от белков, в состав пептидов могут входить не только белокообразующие аминокислоты, но и другие аминокислоты, а также их производные.

К пептидам относятся многие биологически активные вещества, важнейшие гормоны (инсулин, глюкагон, вазопрессин), антибиотики и пр.

В состав *белков* могут входить лишь 20 так называемых белокообразующих аминокислот.

Белки делят на *простые* и *сложные*. *Простые* состоят только из аминокислот. Простыми белками являются сывороточный альбумин крови, фибрин, некоторые ферменты (трипсин) и др. *Сложные* белки в своем составе имеют остатки иных органических и неорганических веществ: фосфопротеиды содержат остаток фосфорной кислоты (казеин молока, белки яичного желтка); нуклеопротеиды — остаток нуклеиновой кислоты; гликопротеиды содержат углеводы (некоторые гормоны, антитела, рецепторы); липопротеиды — липиды (входят в состав биологических мембран) и т. д.

Белками называют полипептиды, имеющие также определенную компактную пространственную структуру. Для нормального функционирования белковой молекулы важна ее правильная конформация.

Уровни пространственной организации белков

Первичная структура. Под ней понимают линейную последовательность аминокислот, соединенных друг с другом пептидными связями в полипептидную цепь. Первичная структура специфична для каждого белка и определяется генетической информацией. От первичной структуры зависят свойства и функции белков. Замена даже одной аминокислоты может изменить функцию белка.

Вторичная структура. Для всех белков в живых клетках характерна не только первичная, но и вторичная структура. Полярность пептидных групп (возле атома O собирается отрицательный заряд, а у N — положительный) обуславливает возможность возникновения водородных связей между этими группами разных аминокислот. Упорядочивание полипептидных цепей при помощи этих связей образует вторичную структуру. Она может представлять собой спиральную конфигурацию (*α-спираль*) или складчатый слой (*β-слой*).

α-спираль напоминает растянутую пружину и возникает в результате образования водородных связей между остатком карбоксильной группы одной аминокислоты и остатком аминогруппы другой аминокислоты соседнего витка. Такую конфигурацию имеет белок кератин (структурный белок волос, шерсти, ногтей, когтей, перьев и т. д., входит в состав наружного слоя кожи позвоночных), фибриноген (белок плазмы крови, участвующий в образовании тромба), инсулин. Также спиральная вторичная структура характерна для таких фибриллярных (нитевидных) белков, как миозин, коллаген, эластин. Они придают тканям жесткость, прочность, эластичность.

β-слой напоминает гармошку. В этом случае несколько полипептидных цепей (или участков одной полипептидной цепи) лежат параллельно, но по своему направлению противоположны (антипараллельны). Водородные связи возникают между остатками карбоксильных и аминогрупп аминокислот, входящих в различные цепи. Такую структуру имеет, например, белок фиброин, составляющий основную массу шелкового волокна, выделяемого шелкоотделительными железами гусеницы шелкопряда.

Третичная структура. Большинство белков особым образом свернуто в компактное шаровидное образование — глобулу. Эта структура стабилизируется благодаря взаимодействиям между радикалами разных аминокислот. К таким взаимодействиям относятся ионные (возникшие между противоположно заряженными аминокислотными остатками), водородные и ковалентные дисульфидные связи S-S («дисульфидные мостики», образующиеся между атомами серы, входящими в состав аминокислоты цистеина). Также важны гидрофобные взаимодействия (образуются между неполярными радикалами в водной среде). Третичную структуру имеют такие белки, как миоглобин (белок, который участвует в создании запасов кислорода в мышцах) и трипсин (фермент, расщепляющий белки в кишечнике).

Четвертичная структура. Некоторые белки образуются при объединении нескольких полипептидных цепей с третичной структурой. Эти комплексы стабилизированы не ковалентными связями между субъединицами, а взаимодействием слабых межмолекулярных сил. Например, белок гемоглобин, содержащийся в эритроцитах, состоит из четырех белковых субъединиц (глобул) и небелковой части — гема.

Структуры пространственной организации белковой молекулы изображены на рисунке 2.

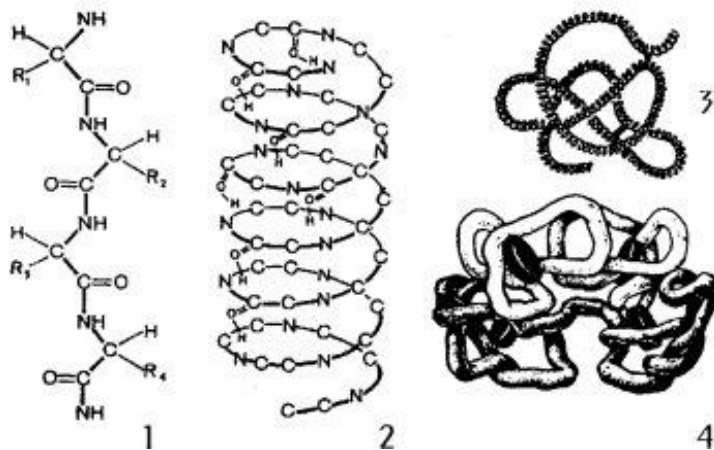


Рисунок 2 — Уровни организации белковой молекулы:
1 — первичная структура; 2 — вторичная структура; 3 — третичная структура;
4 — четвертичная структура

Свойства белков

Белки, как и другие неорганические и органические соединения, обладают рядом физико-химических свойств, которые зависят от их структурной организации.

По форме молекул белки можно разделить на 2 большие группы — *глобулярные* и *фибриллярные*.

Полипептидные цепи глобулярных белков свернуты в компактные сферические структуры. Важнейшими представителями глобулярных белков являются альбумины и глобулины (белки плазмы крови), фибриноген, гемоглобин, гистоны (ядерные белки), ферменты, некоторые гормоны и т. д. Большинство глобулярных белков растворимо в воде.

Фибриллярные белки — белки, полипептидные цепи которых располагаются упорядоченно относительно одной оси: *α-спираль*, *β-слой* или *суперспираль* (3–7 α-спиралей, свитых вместе). К ним относятся кератин, коллаген, миозин и др. Фибриллярные белки придают тканям жесткость, прочность, эластичность. Большинство фибриллярных белков нерастворимо в воде.

Водорастворимые молекулы белков проявляют свою функциональную активность в водных растворах. Кроме того, белковые молекулы несут большой поверхностный заряд, Это сказывается на проницаемости мем-

бран, каталитической активности и других функциях. Белки проявляют свою активность только в узких температурных рамках.

Одно из основных свойств белков — способность изменять свою структуру и свойства под влиянием различных факторов (воздействие спиртом, ацетоном, кислотами, щелочами, высокой температурой, облучением, высоким давлением и т. д.). Изменения происходят вследствие разрыва водородных и ионных связей, стабилизирующих пространственные структуры, т. е. наблюдается *денатурация*. Белок теряет биологическую активность. При этом уменьшается его растворимость, изменяются форма и размеры молекул, теряется ферментативная активность и т. д.

Как правило, денатурация имеет необратимый характер. Хотя на первых стадиях, при условии прекращения действия повреждающего фактора, белок может восстановить свое первоначальное состояние, т. е. произойдет *ренатурация*.

Под влиянием некоторых веществ (формалин, спирт, щелочь) может происходить разрушение первичной структуры белка — *деструкция*. В отличие от денатурации она необратима.

Функции белков и пептидов

Большое разнообразие белков позволяет им выполнять в живом организме множество функций.

Структурная функция. Белки входят в состав всех биологических мембран и органоидов клетки. Кератин является компонентом перьев, шерсти, волос, рогов, копыт, ногтей, когтей. Эластин — эластичный компонент соединительной ткани связок, стенок кровеносных сосудов. Склеротин входит в состав покровов тела насекомых.

Транспортная функция. Некоторые белки принимают участие в активном транспорте веществ через клеточные мембраны против градиента концентраций (Na-K-АТФаза обеспечивает работу Na-K насоса). Также белки-переносчики осуществляют облегченную диффузию веществ через клеточные мембраны. Гемоглобин переносит кислород и углекислый газ в крови позвоночных, гемоцианин — у многих беспозвоночных. Сывороточный альбумин переносит жирные кислоты, глобулины — ионы металлов и гормоны.

Сократительная (двигательная) функция. Сократительные белки обеспечивают способность клеток, тканей, органов и целых организмов изменять форму, двигаться. Тубулины микротрубочек обеспечивают работу веретена деления клетки, движение ресничек и жгутиков эукариотических клеток, флагеллин — движение жгутиков прокариот. Актин и миозин обеспечивают сокращение волокон поперечно-полосатой мускулатуры.

Каталитическая (ферментативная) функция. Подавляющее большинство ферментов являются белками. Они катализируют (ускоряют) практически все химические реакции в клетке. Ферменты участвуют как в процессах синтеза, так и распада веществ, обеспечивая, например, фикса-

цию углерода при фотосинтезе, расщепление питательных веществ в пищеварительном тракте.

Регуляторная функция. Некоторые пептиды и белки являются гормонами. Они влияют на различные физиологические процессы. Гормоны-белки: инсулин, соматотропин, пролактин, паратгормон. Гормоны-пептиды: окситоцин, вазопрессин, кальцитонин. Гормоны-гликопротеины: лютеинизирующий, фолликулолестимулирующий. Нейропептиды — пептиды, присутствующие в мозге и влияющие на функции центральной нервной системы.

Сигнальная функция. Некоторые белки клеточных мембран способны изменять свою структуру в ответ на действие факторов внешней среды. Так происходит прием сигналов из внешней среды и передача информации в клетку с участием гликопротеина, который является компонентом клицокаликса. Также примером могут служить гликопротеины — антигены тканевой совместимости, которые отвечают за распознавание «своих» и «чужих» клеток и тканей, опсин — составная часть светочувствительных пигментов родопсина и йодопсина, находящихся в клетках сетчатки глаза, фитохром — светочувствительный белок сложного строения, участвующий в регуляции реакции растений на изменение длины дня.

Защитная функция. Специфические белки — антитела — защищают организм от вторжения чужеродных тел — антигенов, образуя с ними комплексы и обеспечивая иммунитет. Интерфероны — универсальные противовирусные белки — блокируют синтез вирусного белка в инфицированной клетке. Тромбопластин, протромбин, тромбин и фибриноген предохраняют организм от кровопотери, образуя тромб. Антиоксидантные ферменты (например, каталаза), препятствуют развитию свободнорадикальных процессов, очень вредных для организма.

Токсическая функция. Самые сильные микробные токсины являются белками: ботулинический, столбнячный, дифтерийный, холерный. Многие живые организмы, защищаясь, выделяют белки-токсины, которые являются ядами для других организмов. Токсины синтезируются в организме некоторых змей, пауков, скорпионов. Токсины многих грибов, а также пчел являются пептидами.

Запасающая функция. Ферритин запасает железо в печени, селезенке, яичном желтке. Миоглобин содержит запас кислорода в мышцах позвоночных. Миоглобин содержит запас кислорода в мышцах позвоночных. Альбумин запасает воду в яичном желтке.

Энергетическая функция. Белки могут служить источником энергии в клетке (после гидролиза). Белки семян растений семейства бобовых — источник питания для зародыша. При полном окислении 1 г белка выделяется 17,6 кДж энергии. Белки расходуются на энергетические нужды в крайних случаях, когда исчерпаны запасы углеводов и жиров.

Углеводы — это органические соединения, которые образованы атомами углерода, водорода и кислорода. У большинства углеводов водород и кислород содержатся в таком же соотношении, как и в воде, отсюда и на-

звание — углеводы. Состав углеводов можно выразить формулой $(\text{C}_n\text{H}_m\text{O})_n$, где n равно трем и более. Вместе с тем есть углеводы, у которых соотношение указанных химических элементов иное, а некоторые содержат атомы азота, фосфора и серы.

Углеводы входят в состав всех живых организмов. В сухом остатке животной клетки содержание углеводов не превышает 10 % (иногда 5 %), в растительной их содержание может достигать 90 % сухой массы (клубни картофеля, семена).

Выделяют 3 класса углеводов: 1) моносахариды, или простые сахара; 2) олигосахариды; 3) полисахариды (рисунок 3).

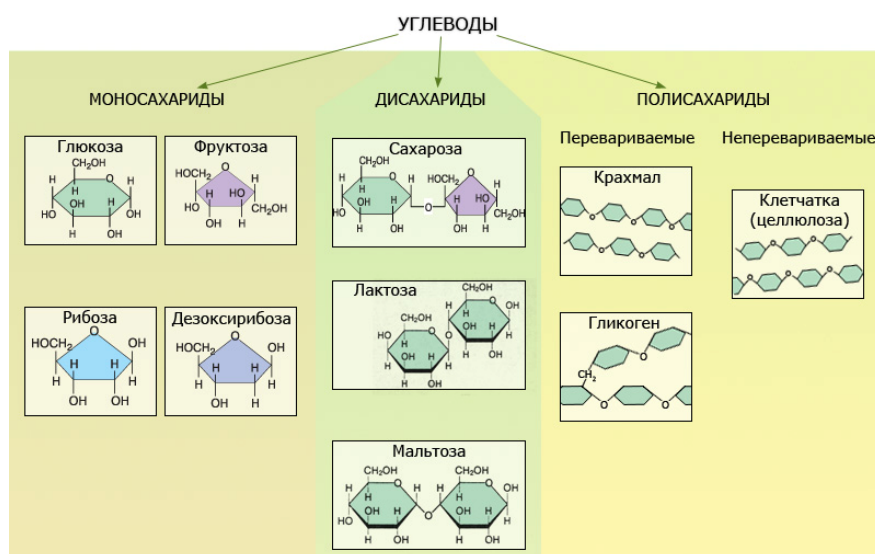


Рисунок 3 — Различные классы углеводов

Моносахариды содержат от трех до семи атомов углерода (C_3 — триозы, C_4 — тетрозы, C_5 — пентозы, C_6 — гексозы, C_7 — гептозы). Это бесцветные кристаллические вещества, легко растворимые в воде и имеющие сладкий вкус. Наиболее распространены пентозы — рибоза и дезоксирибоза и гексозы — глюкоза, фруктоза, галактоза.

Рибоза входит в состав РНК, АТФ, рибофлавина (витамина B_2), ряда ферментов. Дезоксирибоза входит в состав ДНК.

Глюкоза (виноградный сахар) содержится в клетках всех организмов. Она является наиболее распространенным субстратом клеточного дыхания, т. е. источником энергии. Глюкоза — мономер полисахаридов крахмала, гликогена, клетчатки (целлюлозы), гемицеллюлозы.

Фруктоза присутствует в вакуолях клеток растений. Особенно ее много в ягодах, фруктах, меде. Входит в состав сахарозы, олиго- и полисахаридов. В виде фосфорных эфиров участвует в превращениях резервных полисахаридов крахмала и гликогена в процессах дыхания и спиртового брожения.

Галактоза входит в состав некоторых дисахаридов (например, лактозы) и полисахаридов (агар-агара, слизей, гемицеллюлозы).

При растворении в воде моносахариды, начиная с пентоз, приобретают циклическую структуру. Лишь небольшая часть молекул существует в виде открытой цепи.

Олигосахариды — соединения, состоящие из 2–10 последовательно соединенных ковалентными связями молекул простых сахаров. Связь между двумя моносахаридами называется гликозидной. Обычно она образуется между 1 и 4-м углеродными атомами соседних моносахаридов. Если в одной молекуле объединяются 2 моносахарида, такое соединение называют *дисахаридом*.

К олигосахаридам относится дисахарид мальтоза (солодовый сахар), который состоит из двух молекул глюкозы. Он является промежуточным продуктом расщепления крахмала в ходе обмена веществ у растений и животных, а также основным источником энергии в прорастающих семенах и клубнях.

Лактоза (глюкоза + галактоза) — молочный сахар, является источником углеводов для детенышей млекопитающих, в т. ч. человека. Молоко содержит около 5 % лактозы.

Сахароза (глюкоза + фруктоза) — тростниковый или свекловичный сахар, встречается только в растениях. Играет огромную роль в питании человека: сахарный песок, сахар-рафинад на 99 % состоят из сахарозы.

Полисахаридами называются сложные углеводы, образованные многими (до нескольких сотен или тысяч) моносахаридами одного или разных типов.

Полисахариды различаются между собой составом мономеров, длиной и степенью разветвления цепей. Полисахариды имеют линейную, неразветвленную (целлюлоза, хитин) либо разветвленную (гликоген, крахмал) структуры. С увеличением молекулярной массы уменьшается растворимость и теряется сладкий вкус углеводов. Поэтому в отличие от моно- и олигосахаридов полисахариды практически не растворимы в воде и не имеют сладкого вкуса.

Крахмал и гликоген являются полимерами α -глюкозы. Крахмал имеет разветвленную структуру, цепи гликогена ветвятся еще сильнее. Крахмал — наиболее распространенный резервный полисахарид растительных клеток. Он запасается в листьях, семенах, клубнях. Особенно много крахмала в зерновых культурах (до 75 % сухой массы), клубнях картофеля (65 %). Гликоген — резервный полисахарид, содержащийся в тканях животных и человека (в основном в печени и мышцах), в грибах, бактериях, цианобактериях. При необходимости может быстро распадаться с образованием глюкозы.

Целлюлоза является неразветвленным полимером β -глюкозы. Из нее состоят клеточные стенки растительных клеток. Это прочный, волокнистый, нерастворимый в воде полисахарид. Древесина, хлопок состоят в основном из целлюлозы.

Хитин по своей структуре и функциям близок к целлюлозе. Он образует покровы тела членистоногих, является основным компонентом клеточной стенки грибов и некоторых протистов.

Муреин является гетерополисахаридом. Он представлен гигантской молекулой, состоящей из сети полисахаридных цепей, соединенных между собой. Участвует в образовании клеточной стенки бактерий.

Углеводы в комплексе с белками образуют гликопротеиды, а с липидами — гликолипиды.

Функции углеводов

В живых организмах углеводы выполняют различные функции, но основными являются энергетическая и структурная (строительная).

Энергетическая функция. Углеводы под влиянием ферментов легко расщепляются и окисляются с выделением энергии. При полном окислении 1 г углеводов высвобождается 17,6 кДж энергии. Углеводы способны расщепляться как при наличии кислорода, так и без него. Это имеет значение для организмов, живущих в условиях дефицита кислорода. Крахмал и гликоген составляют энергетический запас в клетках.

Структурная функция. Углеводы используются в качестве строительного материала. Целлюлоза входит в состав клеточных оболочек растений (20–40 %), некоторых протистов, поэтому оболочки растительных клеток надежно защищают внутриклеточное содержимое и поддерживают форму клеток. Хитин является компонентом покровов членистоногих и клеточных оболочек некоторых грибов и протистов.

Рецепторная функция. Некоторые олигосахариды входят в состав цитоплазматической мембраны клеток животных и образуют надмембранный комплекс — гликокаликс. Углеводные компоненты цитоплазматической мембраны воспринимают сигналы из окружающей среды и передают их в клетку.

Метаболическая функция. Моносахариды являются основой для синтеза многих органических веществ в клетках — полисахаридов, нуклеотидов, спиртов, аминокислот и др.

Запасная функция. Полисахариды являются запасными питательными веществами всех организмов: у растений — крахмал, у животных и грибов — гликоген. В корнях и клубнях некоторых растений, например, георгинов, запасается инулин (полимер фруктозы).

Защитная функция. Камеди (смолы, выделяющиеся при повреждении деревьев, например вишен, слив), являющиеся производными моносахаридов, препятствуют проникновению в раны болезнетворных микроорганизмов. Твердые клеточные оболочки протистов, грибов и покровы членистоногих, в состав которых входит хитин, тоже выполняют защитную функцию.

Липиды (от греч. «*липос*» — жир) — обширная группа жиров и жироподобных веществ, которые содержатся во всех клетках живых организмов. Их молекулы неполярны либо имеют неполярные участки. Они хорошо растворимы в неполярных растворителях (бензине, хлороформе, эфире

и др.), но нерастворимы в воде, т. е. гидрофобны. В воде они собираются в капли или образуют эмульсии. Человек, как и многие другие позвоночные животные, может усваивать липиды только в виде эмульсий. Для этого в пищеварительном тракте липиды эмульгируются желчными кислотами и в таком виде всасываются.

В некоторых клетках липидов очень мало (от 5 до 15 % сухой массы). А вот в клетках жировой ткани их содержание достигает 90 %. Повышенное содержание жиров наблюдается в нервной ткани, подкожной клетчатке, молоке млекопитающих, семенах и плодах некоторых растений (подсолнечнике, грецких орехах, маслинах и др.).

Так как липиды — органические вещества, основой строения их молекул является цепочка связанных между собой атомов углерода. В химическом отношении большинство липидов представляет собой сложные эфиры высших карбоновых (жирных) кислот и ряда спиртов. В карбоновых кислотах углеродные атомы связаны с атомами водорода и на одном из концов молекулы несут кислотную группу (-COOH). Именно она способна легко связываться с молекулами других веществ. Благодаря такому строению карбоновые кислоты могут быть компонентами более сложных веществ.

Атомы углерода в молекулах высших карбоновых кислот могут быть соединены друг с другом как простыми, так и двойными связями. В первом случае такие кислоты называются *предельными*, или *насыщенными* (пальмитиновая, стеариновая, арахидоновая); во втором — *непредельными*, или *ненасыщенными* (олеиновая, линолевая, линоленовая).

По химическому строению липиды разнообразны. Наиболее важными из них являются нейтральные жиры, фосфолипиды, воски, стероиды.

Нейтральные жиры — наиболее простые и широко распространенные липиды. Их молекулы образуются в результате присоединения к молекуле спирта глицерина трех остатков одинаковых, но чаще — разных, высших карбоновых кислот (рисунок 4).

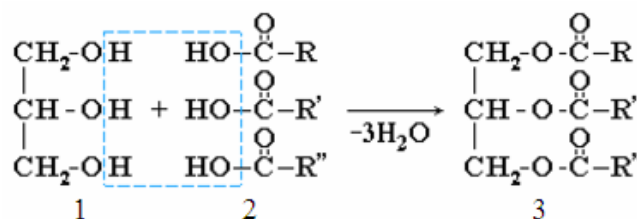


Рисунок 4 — Образование молекулы жира из глицерина и трех карбоновых кислот: 1 — глицерин; 2 — высшие карбоновые кислоты (R могут быть одинаковыми, но чаще — разными); 3 — молекула жира

Степень насыщенности и длина углеродных цепей высших карбоновых кислот определяют физические свойства того или иного жира.

Для жиров с короткими углеродными цепями, содержащими преимущественно остатки непредельных высших карбоновых кислот, характерна

низкая температура плавления. При комнатной температуре они имеют жидкую (масла) либо мазеподобную (жиры) консистенцию. Жиры с длинными цепями, содержащими остатки предельных кислот, при комнатной температуре представляют собой твердые вещества. У рыб арктических морей обычно содержится больше ненасыщенных кислот, чем у обитателей южных широт, поэтому их тело остается гибким и при низких температурах.

Фосфолипиды сходны с жирами, но в их молекуле один или два остатка высших карбоновых кислот замещены остатком фосфорной кислоты. Фосфолипиды — амфифильные (имеющие двойственную природу) соединения. Они имеют полярные головки, роль которых играет фосфатная группа, и два углеводородных хвоста (остатки жирных кислот). Головки гидрофильны (растворимы в воде), а хвосты гидрофобны (нерастворимы в воде). Это обуславливает ключевую роль фосфолипидов в организации биологических мембран.

Воски — сложные эфиры одноатомных (с одной спиртовой группой) высокомолекулярных (имеющих длинную углеродную цепь) спиртов и высших карбоновых кислот.

У животных воски входят в состав липидных фракций мозга, лимфатических узлов, селезенки, желчных путей. У млекопитающих воски выделяются сальными железами кожи. Они смазывают кожу и волосы, делая их эластичными и уменьшая снашиваемость волосяного покрова. У птиц воски, секретлируемые копчиковой железой, придают перьям водоотталкивающие свойства. Образующий пчелами воск используется в строительстве сот.

Восковой слой покрывает листья наземных растений и поверхность тела наземных членистоногих, предохраняя от излишнего испарения воды.

Стероиды и *терпены* являются сложными циклическими соединениями. Их можно отнести к липидам, исходя из того, какие вещества участвуют в их синтезе, хотя молекулы стероидов и терпенов не содержат жирных кислот. Они плохо растворимы в воде.

Наиболее важными стероидами являются *стерины* (например, холестерин), *желчные кислоты* (компоненты желчи), *стероидные гормоны* (половые гормоны, гормоны коры надпочечников).

К стеринам близки терпены (гиббереллины — ростовые вещества растений; фитол входит в состав хлорофилла; каротиноиды — фотосинтетические пигменты; эфирные масла растений, содержащие ментол у мяты, камфору у сосны; натуральный каучук).

Липиды способны образовывать сложные соединения с веществами других классов: с белками — липопротеины, с углеводами — гликолипиды.

Функции липидов

Энергетическая. При окислении 1 г жира до углекислого газа и вода выделяется 38,9 кДж энергии. Это дает возможность животным, впадающим в спячку, поддерживать процессы жизнедеятельности в зимний пери-

од. Высокое содержание липидов в семенах обеспечивает энергией развитие зародыша и проростка. Семена некоторых растений (кокосовой пальмы, подсолнечника, сои, рапса, льна) служат сырьем для промышленного получения растительного масла.

Структурная (строительная). Нерастворимость липидов в воде делает их важнейшими компонентами клеточных мембран (фосфолипиды, холестерин, липопротеиды, гликолипиды).

Защитная функция заключается в том, что они предохраняют внутренние органы от механических повреждений (например, почки человека покрыты жировым слоем, защищающим их от травм, сотрясения при ходьбе и прыжках).

Теплоизоляционная функция. Накапливаясь в подкожной жировой клетчатке некоторых животных (китов, тюленей) и птиц (пингвинов, уток), жиры плохо пропускают тепло и надежно защищают от охлаждения.

Регуляторная функция. Многие производные липидов (например, гормоны коры надпочечников, половых желез, витамины А, Д, Е, К) принимают участие в регуляции обмена веществ у животных и человека, процессов линьки у насекомых и др.

Нуклеиновые кислоты

Нуклеиновые кислоты представлены ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) и РНК (рибонуклеиновая кислота). Они обеспечивают хранение и передачу наследственной информации и были открыты в 1868 г. швейцарским химиком И. Ф. Мишером в лейкоцитах и сперматозоидах лосося.

ДНК — сложное органическое соединение, являющееся полимером, мономером которого является *нуклеотид* (рисунок 5). Молекула нуклеотида состоит из трех частей: пентозы (пятиуглеродного сахара дезоксирибозы), азотистого основания (одного из четырех типов), остатка фосфорной кислоты. Азотистые основания ДНК делятся на две группы: *пуриновые* (А — аденин, Г — гуанин) и *пиримидиновые* (Т — тимин и Ц — цитозин). Название нуклеотида происходит от названия азотистого основания, входящего в его состав, и обозначается заглавной буквой: А- адениловый нуклеотид, Г — гуаниловый, Т — тимидиловый, Ц — цитидиловый.

Нумерация атомов углерода дезоксирибозы осуществляется по часовой стрелке. К первому атому углерода (С-1') пентозы присоединяется азотистое основание, а к пятому (С-5') — остаток фосфорной кислоты.

Нуклеотиды одной цепи ДНК соединяются путём конденсации, в результате чего между фосфатной группой (остатком фосфорной кислоты) одного нуклеотида, находящейся у 5' атома углерода, и гидроксильной группой (-ОН) другого нуклеотида, находящейся у 3' атома углерода, возникает *фосфодиэфирный мостик*. Фосфодиэфирные мостики возникают за счет ковалентных связей, и это придает всей полинуклеотидной цепи прочность и стабильность. При синтезе ДНК этот процесс повторяется несколько миллионов раз (рисунок 6).

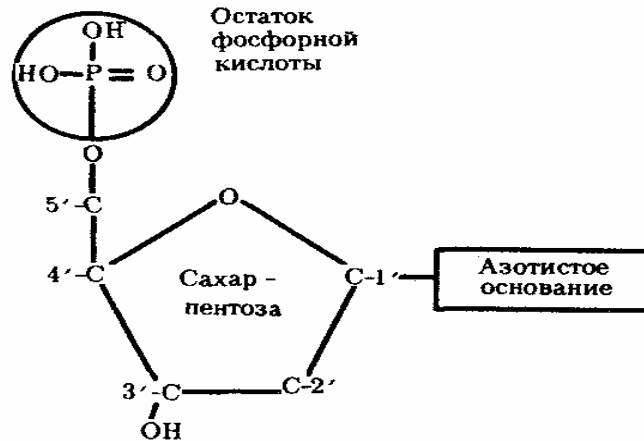


Рисунок 5 — Схема строения нуклеотида

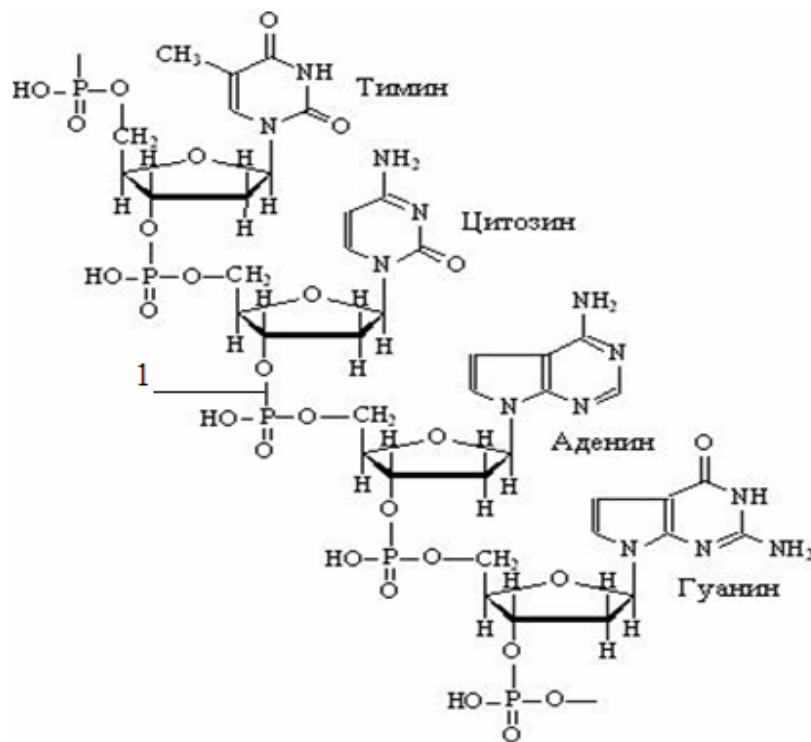


Рисунок 6 — Фрагмент основной полимерной цепи ДНК:
1 — фосфодиэфирные мостики

В 1953 г. Уотсон и Крик предложили пространственную модель строения ДНК.

Каждая молекула ДНК состоит из двух длинных полинуклеотидных цепей, образующих двойную спираль, закрученную вокруг центральной оси. Две цепочки молекулы ДНК расположены антипараллельно, то есть напротив 3'-конца одной цепи ДНК располагается 5'-конец другой цепи (рисунок 7).

Часть нуклеотида, состоящая из азотистого основания и пентозы, получила название *нуклеозида*. Каждый нуклеозид расположен в плоскости, перпендикулярной оси спирали.

Две цепи спирали скреплены водородными связями, которые образуются между азотистыми основаниями разных цепей. Спаривание оснований высокоспецифично. Пуриновое основание может соединяться только с пиримидиновым. Таким образом, единственно возможными парами являются пары А – Т и Г – Ц, которые называются *комплементарными*. Способность к избирательному соединению нуклеотидов называется *комплементарностью*.

Между аденином и тиминем образуется две водородные связи, а между гуанином и цитозином — три. В результате у каждого организма количество адениловых нуклеотидов равно количеству тимидиловых, а количество гуаниловых — количеству цитидиловых. Благодаря этому свойству последовательность оснований одной цепочки определяет последовательность оснований в другой цепочке, строго комплементарной первой.

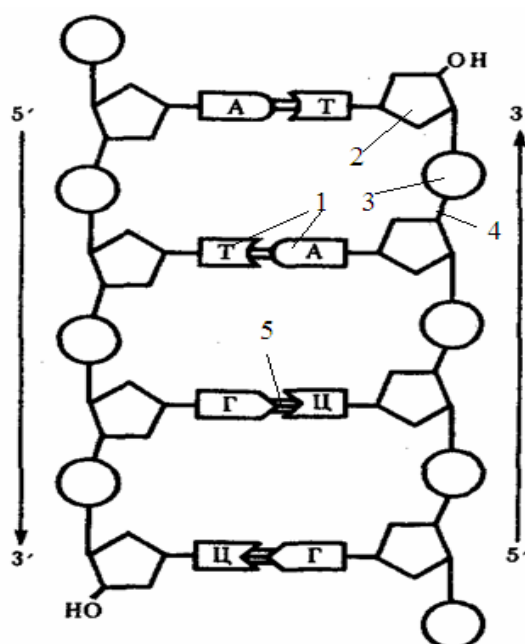


Рисунок 7 — Схема строения двуцепочечной молекулы ДНК:

1 — азотистые основания; 2 — дезоксирибоза; 3 — остаток фосфорной кислоты;
4 — фосфодиэфирный мостик; 5 — водородная связь

Закономерности состава ДНК отражаются в *правилах Э. Чаргаффа*:

- 1) количество аденина равно количеству тимина ($A = T$);
- 2) количество гуанина равно количеству цитозина ($G = C$);
- 3) количество пуриновых оснований равно количеству пиримидиновых оснований ($A + G = T + C$);
- 4) количество оснований с 6-аминогруппами равно количеству оснований с 6-кетогруппами ($A + C = G + T$);
- 5) отношение оснований $A + T / G + C$ является величиной видоспецифичной.

Диаметр молекулы ДНК 2 нм, шаг или виток спирали равен 3,4 нм и содержит 10 пар нуклеотидов.

Большинство природных ДНК имеет двуцепочечную структуру, линейную или кольцевую форму, однако у некоторых вирусов есть одноцепочечные ДНК. Молекула ДНК эукариотических клеток линейна.

ДНК может подвергаться денатурации (плавлению) при изменении условий. Денатурация может быть частичной (обратимой) и полной (необратимой).

Репликация — самоудвоение молекулы ДНК. Этот процесс протекает в период подготовки клетки к делению (синтетический период интерфазы). В результате из каждой молекулы ДНК, находящейся в клетке, образуется две.

Существует несколько моделей репликации ДНК, но самой распространенной является *полуконсервативная* (рисунок 8). Согласно этой модели самоудвоение ДНК происходит следующим образом: под действием ферментов сначала раскручивается спираль ДНК, а затем разрываются водородные связи между нуклеотидами двух цепей. К освободившимся цепочкам по принципу комплементарности под действием фермента ДНК-полимеразы присоединяются свободные нуклеотиды. Следовательно, порядок нуклеотидов в старой (материнской) цепочке ДНК определяет порядок нуклеотидов в новой (дочерней). Старая цепочка ДНК является матрицей для синтеза новой. Такие реакции носят название *реакций матричного синтеза*.

Для матричного синтеза новой молекулы ДНК необходимо, чтобы старая молекула была деспирализована и вытянута. Но одновременное раскручивание спиралей, состоящих из огромного числа пар нуклеотидов, невозможно. Поэтому репликация начинается в нескольких местах молекулы ДНК. Участок от точки начала одной репликации до точки начала другой называется *репликоном*. Эукариотическая хромосома содержит много репликонов, в которых удвоение ДНК идет одновременно. Репликон имеет точку начала репликации и точку окончания. Место, в котором происходит репликация, носит название *репликационной вилки*.

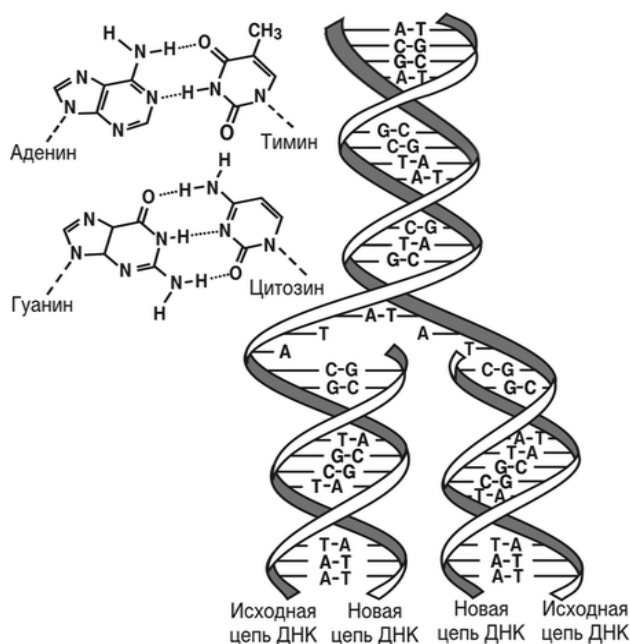


Рисунок 8 — Схема репликации молекулы ДНК

mРНК составляет до 10 % от всей РНК клетки и состоит из 75–85 нуклеотидов. Молекулы тРНК транспортируют аминокислоты из цитоплазмы к рибосомам во время синтеза белка. Благодаря определенному расположению комплементарных нуклеотидов цепочка тРНК имеет форму, напоминающую лист клевера (рисунок 9). При этом тРНК имеет акцепторный конец, к которому присоединяется аминокислота. В противоположной части молекулы тРНК располагается специфический триплет (антикодон), ответственный за прикрепление к определенному триплету иРНК (кодону) по принципу комплементарности.

Основную часть РНК цитоплазмы (около 85 %) составляет *pРНК*. Она входит в состав рибосом. Молекулы рРНК состоят из 3–5 тысяч нуклеотидов.

Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) содержится в митохондриях, хлоропластах, ядре. Она обеспечивает клетку энергией, то есть с помощью АТФ клетка синтезирует новые молекулы белков, углеводов, жиров, осуществляет активный транспорт веществ, биение жгутиков и ресничек.

Молекула АТФ представляет собой нуклеотид, который состоит из азотистого основания аденина, пятиуглеродного сахара рибозы и трех остатков фосфорной кислоты. Фосфатные группы соединены высокоэнергетическими (макроэргическими) связями, которые не очень прочные.

При взаимодействии АТФ с молекулой воды (гидролизе) от АТФ отщепляется фосфатная группа, образуется аденозиндифосфорная кислота (АДФ) и освобождается энергия (40кДж) (рисунок 10). Если АДФ в дальнейшем будет подвергаться гидролизу с отщеплением еще одной фосфатной группы и выделением второй порции энергии, то при этом образуется аденозинмонофосфат (АМФ), который далее не гидролизуется.

Обратный процесс — синтез АТФ — происходит в результате присоединения остатка фосфорной кислоты к молекулам АМФ и АДФ (*реакция фосфорилирования*). Этот процесс протекает за счет энергии, которая освобождается при окислении органических веществ (*окислительное фосфорилирование*), и энергия снова аккумулируется в макроэргических связях АТФ. Далее синтезированная АТФ направляется в те участки клетки, где возникает потребность в энергии.

Таким образом, АТФ — главный поставщик энергии в клетках всех живых организмов.

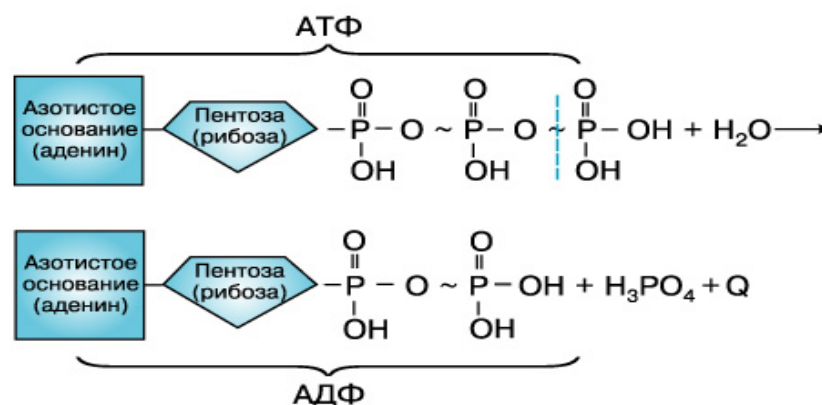


Рисунок 10 — Схема строения молекулы АТФ

СТРОЕНИЕ КЛЕТКИ

Клетка представляет собой элементарную живую систему, состоящую из трех основных структурных компонентов — мембраны, цитоплазмы, ядра.

Строение цитоплазматической мембраны (плазмалеммы)

Сингер и Николсон в 1972 г. предложили жидкостно-мозаичную модель строения цитоплазматической мембраны.

Плазмолемма представляет собой тонкую пленку, которая состоит из бислоя (двойного слоя) фосфолипидов и белков. Белки погружены в жидкий липидный слой и напоминают мозаику. Молекулы липидов расположены таким образом, что их гидрофильные (водорастворимые) головки обращены наружу, а гидрофобные (водонерастворимые) хвосты — внутрь (рисунок 11). Липиды и белки плазмалеммы могут перемещаться, меняя свое положение. Молекулы липидов и белков удерживаются с помощью гидрофильно-гидрофобных взаимодействий.

Белки являются материальной основой главных функций мембран: транспортной, каталитической (ферменты) и рецепторной (гликопротеины).

Белки мембраны бывают трех видов:

1) *интегральные* — белки, пронизывающие бислой фосфолипидов. Водорастворимые вещества могут перемещаться через мембрану с помощью канальных (порины) или транспортных (пермеазы, АТФ-азы) белков;

2) *полуинтегральные* — белки, частично погруженные в бислой фосфолипидов. Они принимают участие в работе молекулярных рецепторов.

3) *периферические* — белки, находящиеся на обеих поверхностях липидов. На наружной поверхности имеется рецепторный аппарат — *гликокаликс*, который образован разветвленными молекулами гликопротеинов.

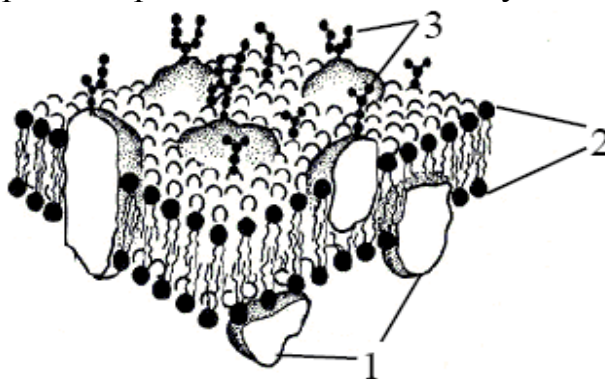


Рисунок 11 — Схема строения клеточной мембраны:

1 — белки; 2 — два слоя фосфолипидов; 3 — гликокаликс (полисахариды)

Надмембранный комплекс располагается над плазмалеммой и может иметь различное строение у разных групп организмов. У прокариотических клеток он включает клеточную стенку, которая образована муреином.

Надмембранный комплекс эукариотических клеток животных представлен углеводами, связанными с белками и липидами клеточной мембраны — гликокаликсом. Он обладает способностью «узнавать» определенные вещества и структуры, то есть выполняет сигнальную и рецепторную функции. Например, яйцеклетка и сперматозоид узнают друг друга по гликопротеинам клеточной поверхности. У грибов надмембранный комплекс представлен жесткой клеточной стенкой из хитина, а у растений — из целлюлозы. Клеточная стенка выполняет защитную и опорную функции.

Свойства мембраны:

- 1) текучесть — большая часть белков и липидов, входящих в состав мембраны, может перемещаться в ее плоскости;
- 2) асимметрия — состав наружного и внутреннего слоев как белков, так и липидов, различен;
- 3) полярность — внешняя сторона мембраны несет положительный заряд, а внутренняя — отрицательный;
- 4) избирательная проницаемость — мембраны живых клеток пропускают лишь определенные молекулы и ионы растворенных веществ;
- 5) динамичность — способность мембраны быстро восстанавливаться после повреждения, а также растягиваться и сжиматься при клеточных движениях.

Функции мембраны:

- 1) барьерная — отделяет содержимое клетки от внешней среды;
- 2) рецепторная — участвует в получении и преобразовании сигналов из окружающей среды;
- 3) каталитическая — обеспечивает примембранные процессы и участвует в преобразовании энергии;
- 4) структурная — участвует в построении органелл клетки;
- 5) транспортная — обеспечивает транспорт веществ в клетку и из нее.

Толщина мембраны не превышает 5–10 нм. Она служит барьером для ионов и молекул, а особенно для полярных молекул, поскольку неполярные липиды мембраны эти вещества отталкивают. Транспорт через мембраны жизненно важен, так как обеспечивает поддержание в клетке рН среды и определенной ионной концентрации, необходимой для эффективной работы клеточных ферментов; он доставляет питательные вещества, которые служат источником энергии, а также «сырьем» для образования клеточных компонентов; от него зависят выведение из клетки токсичных отходов, секреция различных полезных веществ, а также создание ионных градиентов, необходимых для нервной и мышечной активности.

Способы переноса веществ через клеточную мембрану

Пассивный транспорт осуществляется по градиенту концентрации, то есть вещества из области с высокой концентрацией перемещаются в сторону низкой концентрации этого вещества без затрат энергии.

Виды пассивного транспорта:

Осмоз — процесс перехода молекул растворителя из области с более высокой степенью концентрации этих молекул (то есть из раствора более разбавленного, гипотонического) в область с более низкой их концентрацией (то есть в раствор более концентрированный, гипертонический) через полупроницаемую или избирательно проницаемую мембрану. Так как растворителем является вода, то можно сказать, что осмос — это диффузия воды, при котором достигается равновесие концентрации растворов по обе стороны мембраны, то есть пока растворы не станут изотоническими (равными). Осмос осуществляется при участии интегральных белков-поринов.

Диффузия — передвижение молекул или ионов через полупроницаемую мембрану (*кислород, углекислый газ, мочеви́на, этанол* просачиваются между молекулами липидов, а *ионы кальция, калия, натрия и др.* пересекают мембрану через «поры» специфических интегральных белков). Для ионов направление диффузии определяется двумя факторами: один из этих факторов — концентрация, а другой — электрический заряд. Ионы притягиваются областью с противоположным зарядом и отталкиваются областью с одноименным зарядом, то есть они движутся по электрохимическим градиентам.

Облегченная диффузия — перенос веществ по градиенту концентрации и без затрат энергии с помощью белка-переносчика клеточной мембраны (*глюкоза, лактоза, аминокислоты, нуклеотиды, глицерин*).

Активный транспорт осуществляется против градиента концентрации, то есть происходит перемещение веществ из области низкой концентрации в сторону высокой концентрации этого вещества. При этом затрачивается энергия, так как вещество должно двигаться вопреки своему естественному стремлению диффундировать в противоположном направлении. Движение это обычно однонаправленное.

Виды активного транспорта:

Натрий-калиевый насос осуществляется белками-переносчиками против градиента концентрации с затратой энергии. При этом *ионы калия* поступают внутрь клетки, а *ионы натрия* — из клетки.

Насос — это особый белок-переносчик, локализующийся в мембране таким образом, что он пронизывает всю ее толщину. Этот белок осуществляет транспорт натрия и калия и обладает АТФ-азной активностью, то есть способен расщеплять молекулу АТФ до АДФ и остатка фосфорной кислоты, используя при этом освобождающуюся энергию на перенос ионов. Перенос натрия и калия через мембрану совершается в результате изменений (конформации), которые претерпевает этот белок (рисунок 12).

С внутренней стороны мембраны к белку поступают натрий и АТФ, а с наружной — калий. На каждые два поглощенных иона калия из клетки выводится три иона натрия. Вследствие этого содержимое клетки становится более отрицательным по отношению к внешней среде, и между двумя сторонами мембран возникает разность потенциалов. Это ограничивает

поступление в клетку отрицательно заряженных ионов (анионов), например хлорид-ионов. Именно данным обстоятельством объясняется тот факт, что концентрация хлорид-ионов в эритроцитах ниже, чем в плазме крови, хотя эти ионы могут поступать в клетки и выходить из них за счет облегченной диффузии. Положительно заряженные ионы (катионы), напротив, притягиваются клеткой. Таким образом, оба фактора — концентрация и электрический заряд — важны при определении того, в каком направлении будут перемещаться через мембрану ионы.

Выкачиваемый из клетки натрий обычно пассивно диффундирует обратно в клетку. Однако мембрана мало проницаема для натрия, и потому эта диффузия в обратном направлении происходит очень медленно. Для ионов калия мембраны приблизительно в 100 раз более проницаемы, чем для натрия, поэтому диффундирует калий гораздо быстрее.

Натрий-калиевый насос необходим животным клеткам для поддержания осмотического баланса (осморегуляции). Если он перестанет работать, клетка начнет набухать и, в конце концов, лопнет. Произойдет это потому, что с накоплением ионов натрия в клетку под действием осмотических сил будет поступать все больше и больше воды. Ясно, что бактериям, грибам и растениям с их жесткими клеточными стенками такой насос не требуется. Животным клеткам он нужен также для поддержания электрической активности в нервных и мышечных клетках и, наконец, для активного транспорта некоторых веществ, например сахаров и аминокислот. Высокие концентрации калия требуются также для белкового синтеза, гликолиза, фотосинтеза и для некоторых других жизненно важных процессов.

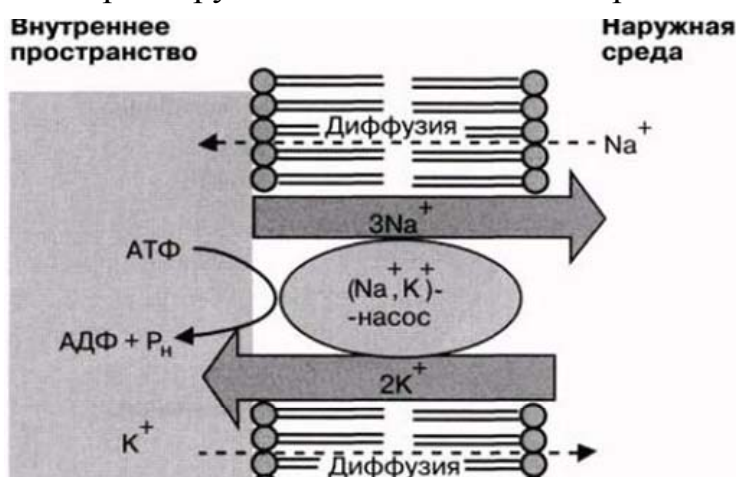


Рисунок 12 — Схема работы натрий-калиевого насоса

Эндоцитоз и экзоцитоз — это два активных процесса, посредством которых различные материалы транспортируются через мембрану либо в клетку (эндоцитоз), либо из клетки (экзоцитоз). При эндоцитозе плазматическая мембрана образует впячивания или выросты, которые затем, отшнуровываясь, превращаются в пузырьки или вакуоли.

Различают два типа эндоцитоза:

1. *Фагоцитоз* — поглощение твердых частиц. Специализированные клетки, осуществляющие *фагоцитоз*, называются *фагоцитами*. Мембранный мешочек, обволакивающий поглощаемую частицу, называют *фагоцитозной вакуолью*. Эту функцию выполняют, например, некоторые виды лейкоцитов.

2. *Пиноцитоз* — поглощение жидкого материала (раствор, коллоидный раствор, суспензия). Часто при этом образуются очень мелкие пузырьки. В таком случае говорят о *микропиноцитозе* и пузырьки называют *микропиноцитозными*. Пиноцитоз характерен для амебоидных простейших, лейкоцитов, клеток зародыша, клеток печени и некоторых клеток почек.

Экзоцитоз — процесс выведения веществ из клетки. Таким способом различные материалы выводятся из клеток: из пищеварительных вакуолей удаляются оставшиеся непереваренными плотные частицы, а из секреторных клеток путем «пиноцитоза наоборот» выводится их жидкий секрет (ферменты, гормоны).

Состав цитоплазмы

Живое содержимое клетки, если из него удалить ядро, называется цитоплазмой. В ней различают гиалоплазму, органоиды, включения и цитоскелет.

Гиалоплазма — основное полужидкое вещество цитоплазмы. Она представляет собой сложную коллоидную систему, включающую различные биополимеры: белки, углеводы, нуклеиновые кислоты и др. Эта система способна переходить из жидкого состояния в твердое.

Жидкая фаза гиалоплазмы представлена коллоидным раствором различных белков и др. веществ. *Твердая фаза* представлена *микротрабекулярной* системой. Нити микротрабекулярной системы состоят из разных белков, молекулы которых образуют друг с другом сложные комплексы. Эта система очень динамична. При изменении внешних или внутренних условий нити микротрабекулярной системы могут распадаться на отдельные молекулы белка. При этом изменяются физические свойства гиалоплазмы.

Функции гиалоплазмы:

- 1) является внутренней средой клетки, где протекают химические процессы;
- 2) объединяет все клеточные структуры и обеспечивает химическое взаимодействие между ними;
- 3) определяет местоположение органелл в клетке;
- 4) обеспечивает внутриклеточный транспорт веществ и перемещение органелл;
- 5) является основным депо энергии и зоной перемещения молекул АТФ;
- 6) определяет форму клетки.

Цитоскелет клетки

Микротрабекулярная система, микротрубочки, микрофиламенты и промежуточные филаменты образуют цитоплазматический скелет клетки,

который выполняет опорную функцию в клетке, придавая ей определенную форму (рисунок 13).

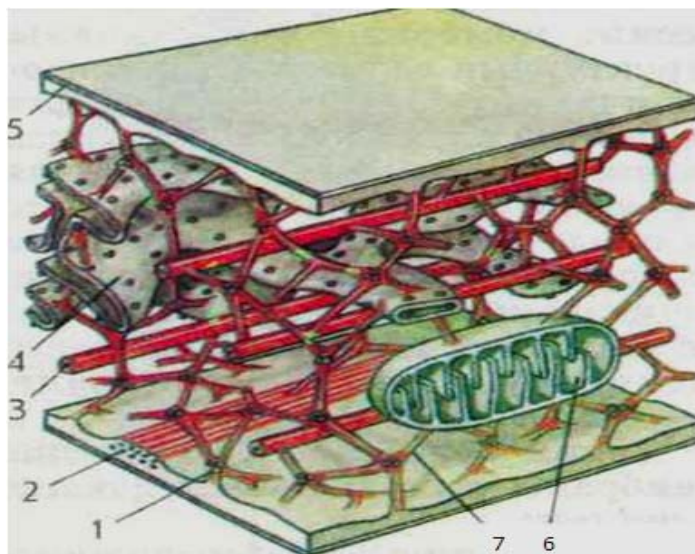


Рисунок 13 — Схема организации цитоскелета клетки:

1 — рибосомы; 2 — микрофиламенты; 3 — микротрубочка; 4 — ЭПС; 5 — цитоплазматическая мембрана; 6 — митохондрия; 7 — микротрабекулы

Микротрубочки — полые белковые цилиндры, состоящие из глобул белка α - и β -тубулина (рисунок 14).

Функции микротрубочек:

- 1) входят в состав центриолей, ресничек и жгутиков;
- 2) составляют нити веретена деления;
- 3) осуществляют внутриклеточный транспорт;
- 4) участвуют в формировании цитоскелета клетки.

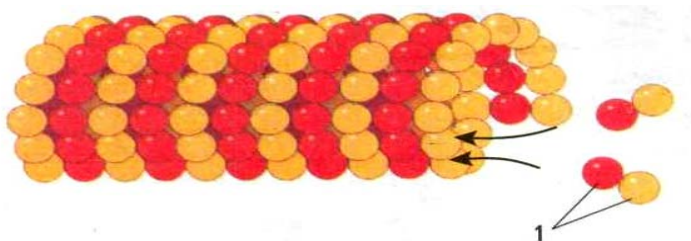


Рисунок 14 — Схема строения микротрубочки:

1 — тубулиновые субъединицы

Микрофиламенты — тонкие белковые нити, состоящие из белка актина, молекулы которого полимеризуются в фибриллу и состоят из двух нитей (рисунок 15).

Функции микрофиламентов:

- 1) обеспечивают двигательную активность гиалоплазмы.
- 2) участвуют в эндоцитозе и в образовании перетяжки при делении клеток животных.



Рисунок 15 — Схема строения актинового микрофиламента

Промежуточные филаменты образованы молекулами разных фибриллярных белков и имеют вид канатиков (рисунок 16). Выполняют опорную функцию в клетках, которые подвергаются значительным физическим нагрузкам (эпидермис, аксоны нервных клеток, мышечные волокна).



Рисунок 16 — Схема строения промежуточного филамента

Органоиды клетки

Органоиды — обязательные цитоплазматические структуры в клетках любых организмов, выполняющие специфические функции. Они делятся на две группы:

- 1) *органоиды общего назначения* — это органоиды, которые имеются во всех клетках (митохондрии, АГ, ЭПС, рибосомы и т. д.);
- 2) *органоиды специального назначения* — органоиды, которые характерны лишь для некоторых клеток (реснички, жгутики, миофибриллы, нейрофибриллы, сократительные вакуоли и т. д.).

Эндоплазматическая сеть (ЭПС) — одномембранный органоид общего назначения. Представлен системой мембран, образующих трубочки, каналцы, цистерны и пузырьки. Существует два типа ЭПС: гранулярная (шероховатая), на поверхности которой есть рибосомы, и агранулярная (гладкая) (рисунок 17).

Функции ЭПС:

- 1) шероховатая ЭПС обеспечивает синтез белков, протеолитических ферментов;
- 2) на поверхности гладкой ЭПС идет синтез углеводов, мембранных липидов, предшественников стероидных гормонов и др.;
- 3) ЭПС обеспечивает внутри- и межклеточный транспорт веществ;
- 4) участвует в образовании ядерной оболочки после деления клетки;
- 5) в гладкой ЭПС клеток печени осуществляются процессы разрушения различных вредных веществ, их детоксикация;
- 6) разделение клетки на отсеки, в которых изолированно друг от друга протекают различные биохимические реакции;
- 7) образование пероксисом.

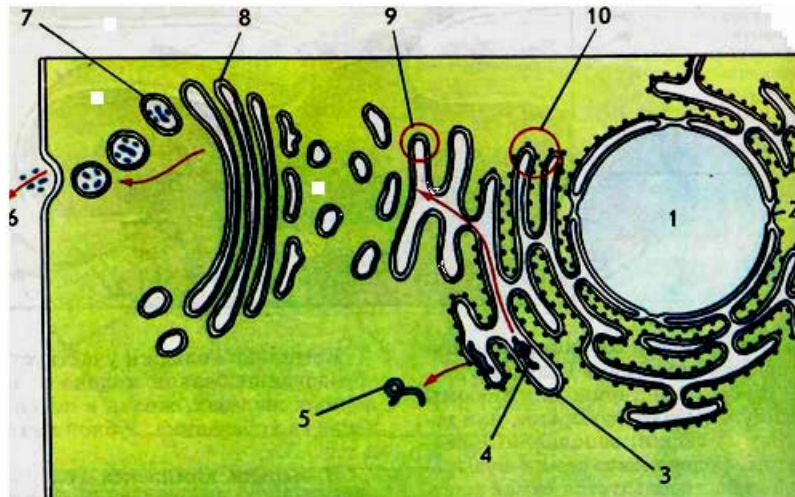


Рисунок 17 — Взаимодействие мембранных систем клетки: 1 — ядро; 2 — ядерная пора; 3 — рибосома; 4 — экспортный белок; 5 — белок, используемый на нужды клетки; 6 — продукты секреции; 7 — секреторные пузырьки; 8 — комплекс Гольджи (диктиосома); 9 — гладкая ЭПС; 10 — шероховатая ЭПС

Аппарат (комплекс) Гольджи (АГ) — одномембранный органоид общего назначения. Представляет собой стопку уплощенных мембранных мешочков, по периферии переходящих в сеть мембранных трубочек и связанную с ними систему пузырьков (рисунок 17). Такие стопки называются *диктиосомами* (до 20 штук в одной клетке). На одном конце стопки образуются новые мешочки путем слияния мембранных пузырьков, отпочковывающихся от ЭПС. Эта сторона АГ называется наружной, она выпуклая. Противоположная сторона, где мешочки вновь распадаются на пузырьки, называется внутренней и имеет вогнутую форму. Мешочки постепенно перемещаются от наружной стороны к внутренней.

Функции аппарата Гольджи:

- 1) формирование первичных лизосом, глиоксисом, вакуолей;
- 2) обезвоживание, накопление, упаковка и транспорт продуктов секреции;
- 3) синтез структурных белков, например коллагена — компонента соединительной ткани, гликопротеинов, гликолипидов;
- 4) участие в синтезе желтка яйцеклеток и синтезе полисахаридов;
- 5) формирование цитоплазматической мембраны и стенок клеток растений после деления.

Лизосомы — одномембранные органоиды общего назначения. Представляют собой мешочки, наполненные гидролитическими (пищеварительными) ферментами — протеазами, нуклеазами, липазами и кислыми фосфатазами. Эти ферменты должны быть изолированы от всех остальных клеточных компонентов и структур, иначе они их разрушат. Заключенные в лизосомах ферменты синтезируются на шероховатой ЭПС и транспортируются к аппарату Гольджи. Позже от него отпочковываются пузырьки, которые называются *первичными лизосомами*. Они выполняют ряд функ-

ций, связанных главным образом с внутриклеточным перевариванием, но иногда и с секрецией пищеварительных ферментов.

С пузырьками или вакуолями, образовавшимися в процессе эндоцитоза, могут сливаться первичные лизосомы. При этом образуются *вторичные лизосомы*, в которых происходит переваривание материалов, поступивших в клетку путем эндоцитоза. Вторичную лизосому можно назвать также *пищеварительной вакуолью*. Продукты переваривания поглощаются и усваиваются цитоплазмой клетки, но часть материала так и остается непереваренной. Вторичная лизосома, содержащая этот непереваренный материал, называется *остаточным тельцем*. Остаточные тельца направляются обычно к плазматической мембране, и здесь их содержимое выводится наружу (экзоцитоз).

Функции лизосом:

- 1) обеспечивают внутриклеточное переваривание;
- 2) разрушают ненужные клетке структуры путем гетерофагии, аутофагии, автолиза.

Гетерофагия — процесс разрушения лизосомами чужеродных, поступивших путем эндоцитоза, веществ.

Аутофагия — процесс разрушения собственных материалов клетки (макромолекул, органелл), утративших функциональную активность. Сначала эти структуры окружаются одинарной мембраной, отделяющейся обычно от гладкой ЭПС. Затем такой мембранный мешочек с заключенной в нем структурой сливается с первичной лизосомой, в результате чего образуется вторичная лизосома, или *аутофагическая вакуоль*, в которой структура переваривается. Этот процесс обеспечивает замену старых органелл новыми. Аутофагия наблюдается чаще в клетках, претерпевающих реорганизацию во время дифференцировки.

Автолиз — это саморазрушение клетки, наступающее в результате высвобождения содержимого ее лизосом. В связи с этим лизосомы были в свое время метко названы «орудиями самоубийства» (suicide bags). При некоторых процессах дифференцировки автолиз представляет собой нормальное явление; он может распространяться и на всю ткань, например, при разрушении временных органов личинок (хвоста и жабр в процессе превращения головастика в лягушку). Автолиз наступает также после гибели клетки.

Пероксисомы, или микротельца входят в число обычных органелл эукариотических клеток. Эти органеллы имеют округлые очертания и окружены одинарной мембраной. В тонкогранулярном содержимом пероксисом иногда отчетливо видно кристаллическое «ядро». Это кристаллический белок (фермент). Пероксисомы образуются на ЭПС, с которой они нередко сохраняют тесную связь. Главная отличительная особенность пероксисом состоит в том, что они содержат фермент каталазу, катализирующий разложение пероксида водорода на воду и кислород (отсюда и само название этих органелл — пероксисомы). Пероксид водорода представляет собой побочный продукт некоторых окислительных процессов, протекающих в клетке. Он очень токсичен и

поэтому должен удаляться немедленно. Клетки печени очень богаты пероксисомами. Пероксисомы листьев растений играют важную роль в фотодыхании, так как тесно связаны в этом процессе с хлоропластами и митохондриями (пероксид водорода — один из продуктов фотодыхания).

Глиоксисомы — одномембранные органоиды растений, участвующие в превращении липидов в сахарозу в некоторых богатых маслами семенах, например в эндосперме семян клеверины.

Вакуоли — одномембранные органоиды округлой формы, заполненные жидкостью. Они содержатся в клетках растений, грибов и одноклеточных организмов. Образуются из пузырьвидных расширений ЭПС или из пузырьков АГ (рисунок 18).

Центральная вакуоль растений занимает до 70–90 % объема клетки. *Тонoplast* — мембрана, окружающая вакуоль. Содержимое вакуолей — *клеточный сок*. Он содержит запасные вещества: соли, сахара (сахароза, глюкоза, фруктоза), органические кислоты (яблочная, лимонная, щавелевая, уксусная), аминокислоты, белки. Также может содержать конечные продукты жизнедеятельности клеток: дубильные вещества (танины), фенолы, алкалоиды (кофеин), щавелевокислый кальций, пигменты (антоцианы), придающие клеточному соку пурпурную, красную, синюю или фиолетовую окраску. Клеточный сок некоторых растений содержит физиологически активные вещества — фитогормоны (регуляторы роста), фитонциды, ферменты.

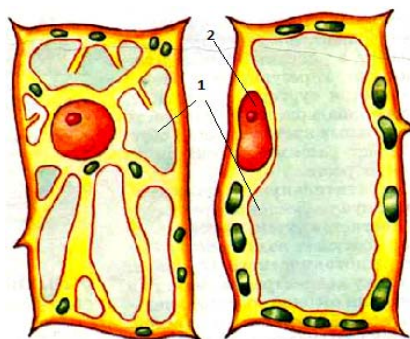


Рисунок 18 — Вакуоли растительной клетки:
1 — вакуоль; 2 — ядро клетки

Сократительные или пульсирующие вакуоли у одноклеточных пресноводных организмов служат для осмотической регуляции. Так как в их клетки путем осмоса непрерывно поступает вода из окружающей среды, она накапливается в сократительных вакуолях и затем выводится наружу.

Функции вакуолей:

1) играют главную роль в поглощении воды растительными клетками, в результате чего развивается тургорное давление — давление, оказываемое протопластом (живым содержимым клетки) на клеточную стенку; регулируют водный режим;

2) участвуют в накоплении и изоляции веществ.

Митохондрии имеют форму палочек, зернышек, нитей и являются двухмембранными органоидами клетки (рисунок 19). Внешняя мембрана гладкая, внутренняя образует выросты трубочки (растительная клетка), или кристы (в клетках животных). Пространство между наружной и внутренней мембранами называется перимитохондриальным.

Внутреннее содержимое митохондрии — *матрикс*, в состав которого входят различные белки, в том числе ферменты, соли кальция и магния, витамины, аминокислоты, РНК, ДНК (кольцевые молекулы), рибосомы. ДНК обеспечивает генетическую полуавтономность митохондрий (синтезируется небольшое количество собственного белка). На поверхности крист расположены грибовидные образования — АТФ-сомы, содержащие ферменты, которые участвуют в синтезе АТФ, а также переносчики электронов и протонов. Размножаются митохондрии путем деления.

Функция митохондрий: синтез АТФ.

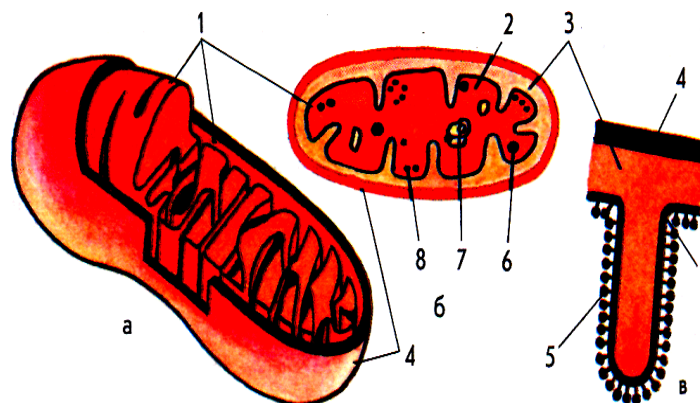


Рисунок 19 — Схема строения митохондрии:

- а — трехмерная структура; б — продольный разрез; в — часть кристы;
 1 — внутренняя мембрана; 2 — матрикс; 3 — межмембранное пространство;
 4 — наружная мембрана; 5 — АТФ-сомы; 6 — гранулы; 7 — ДНК; 8 — рибосомы

Пластиды — это двумембранные органеллы клеток автотрофных организмов. В зависимости от местоположения в растении различают следующие виды пластид: пропластиды, лейкопласты, этиопласты, хлоропласты, хромопласты.

В меристематических (образовательных) тканях присутствуют пропластиды. Из них образуются все виды пластид, которые размножаются путем деления. Все пластиды генетически родственны друг другу, и одни их виды могут превращаться в другие.

Если структура *пропластид* сохраняется в органеллах зрелых клеток, их называют *лейкопластами*. В них откладываются запасные вещества. Названия они получают в зависимости от этих соединений: если запасается крахмал — *амилопласты*, если жиры — *элайоласты*, если белки — *протеинопласты*.

Этиопласты формируются при выращивании зеленых растений в темноте. При освещении они превращаются в хлоропласты.

Хромопласты отличаются от других пластид своеобразной формой (дисковидной, зубчатой, серповидной, треугольной, ромбической и др.) и окраской. В пузырьках стромы они содержат кристаллические каротиноиды, которые и придают им желтую, оранжевую и красную окраску. С хромопластами связан также синтез некоторых витаминов.

Хлоропласты имеют форму двояковыпуклой линзы. Наружная мембрана гладкая, внутренняя образует *тилакоиды* (мешочки). Дисковидные тилакоиды формируют *граны*, а трубковидные — тилакоиды стромы, объединяют все граны в единую систему (рисунок 20). В одной грани содержится от нескольких до 50 тилакоидов, а число гран в хлоропласте достигает 40–60. Внутреннее содержимое хлоропласта — *строма*. В ее состав входят белки, липиды, углеводы, ферменты, АТФ, ДНК, РНК и рибосомы. Хлоропласты — полуавтономные органоиды клетки, в которых синтезируются собственные белки. Размножаются путем деления пополам и образуются из пропластид и лейкопластов.

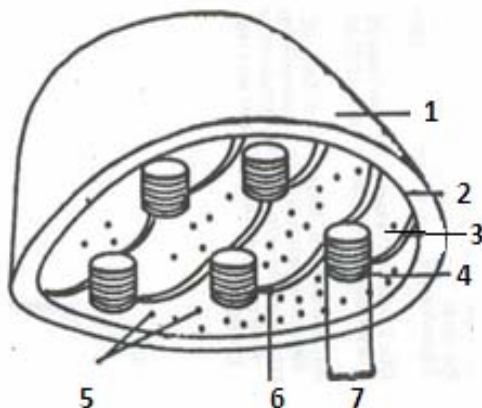


Рисунок 20 — Схема строения хлоропласта:

1 — наружная мембрана; 2 — внутренняя мембрана; 3 — строма (матрикс); 4 — тилакоиды граны; 5 — рибосомы; 6 — тилакоиды стромы; 7 — грана

Хлоропласты содержат пигменты: *хлорофилл* (зеленый) — основной пигмент, расположенный на наружной стороне мембраны тилакоидов гран в комплексе с глобулярными белками; *каротиноиды* — дополнительные пигменты, находящиеся в липидном слое мембраны.

Функция хлоропластов — осуществление фотосинтеза.

Рибосомы — органеллы немембранного строения, представленные сферическими гранулами. Обнаружены в клетках прокариот и эукариот. Каждая рибосома состоит из двух *нуклеопротеидных* (комплекс рРНК с белками) *субъединиц* — большой и малой (рис.21). Большая субъединица рибосомы состоит из 3 молекул рРНК и 34 молекул белка, а малая — из 1 молекулы рРНК и 21 молекулы белка. Рибосомы образуются в ядре с участием ядрышка. Сформированные субъединицы рибосом выходят из ядра через ядерные поры и свободно располагаются в цитоплазме, объединяясь в единую структуру в

присутствии ионов магния на период синтеза белка. Рибосомы также присутствуют в митохондриях, пластидах, на поверхности шероховатой ЭПС.

Функция рибосом — синтез белков.

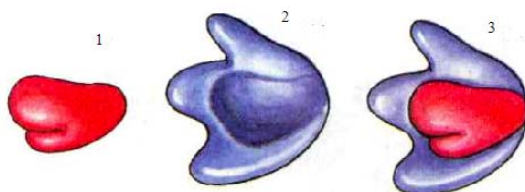


Рисунок 21 — Схема строения рибосомы:
1 — малая субъединица; 2 — большая субъединица; 3 — рибосома

Центриоли состоят из расположенных по окружности девяти групп микротрубочек (чаще по три), образующих полый цилиндр (рисунок 22). Вокруг каждой центриоли расположен тонковолокнистый матрикс. Пара центриолей, расположенных перпендикулярно друг к другу и окруженных более светлой зоной цитоплазмы, от которой радиально отходят тонкие нити, образуют *клеточный центр*. Он не имеет мембранного строения и присутствует в клетках животных, некоторых грибов, водорослей, мхов и папоротников.

Строение и активность центриолей меняется в зависимости от периода клеточного цикла. Во время деления клетки они участвуют в формировании веретена деления, состоящего из микротрубочек, которое способствует распределению генетического материала между дочерними клетками во время деления материнской клетки.

В период выполнения клеткой основных функций клеточный центр участвует в образовании цитоплазматических микротрубочек. А в период подготовки клетки к делению происходит удвоение центриолей, микротрубочки цитоскелета исчезают и вокруг центриолей начинают формироваться нити веретена деления.

Функции центриолей:

- 1) участие в формировании цитоскелета клетки;
- 2) образование ресничек и жгутиков;
- 3) построение веретена деления.

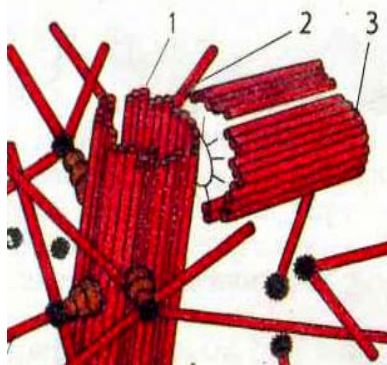


Рисунок 22 — Схема строения центриолей:
1 — материнская центриоль; 2 — триплеты микротрубочек;
3 — дочерняя центриоль

Жгутики и реснички — органоиды движения немембранного строения. Они состоят из 20 микротрубочек, образующих 9 пар по периферии и 2 одиночные микротрубочки в центре. У основания находится *базальное тельце*, которым ресничка или жгутик закориваются в цитоплазму и состоит из 9 периферических триплетов микротрубочек (рисунок 23). Жгутики эукариотических клеток имеют длину около 100 мкм. Короткие (10–20 мкм) и многочисленные жгутики называются ресничками. Скольжение микротрубочек относительно друг друга вызывает их биение.

Функции ресничек и жгутиков:

- 1) движение клеток протистов, сперматозоидов;
- 2) продвижение жидкости вдоль поверхности клеток (дыхательный эпителий).

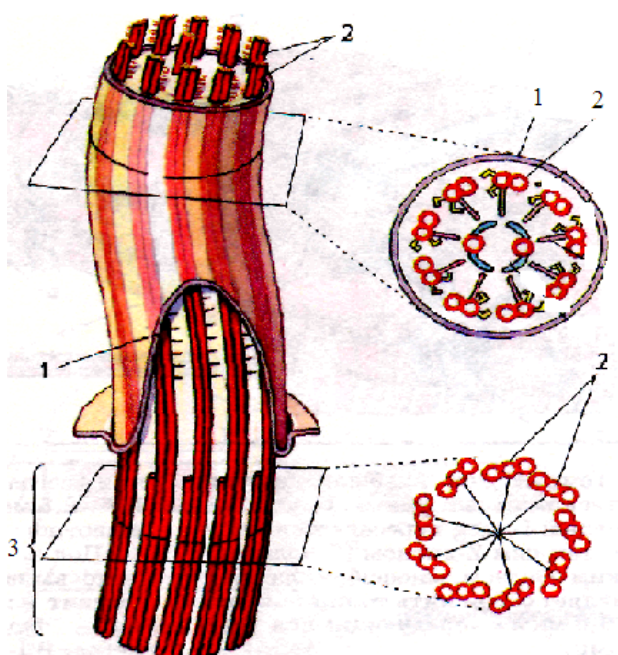


Рисунок 23 — Схема строения жгутика:

1 — плазмалемма; 2 — микротрубочки; 3 — базальное тельце

Включения — это временные образования, возникающие на определенной стадии жизни клетки. Выделяют следующие группы включений: *трофические* — представляют собой запасные питательные вещества (крахмальные и белковые зерна, гликоген, капли жира); *секреторные* — являются продуктами жизнедеятельности клеток желез внутренней и внешней секреции (ферменты, гормоны, слизь); *экскреторные* — представляют собой продукты обмена веществ (кристаллы щавелевой кислоты).

Ядро — основной структурный компонент эукариотической клетки. Ядро растительной клетки описано английским ученым Р. Броуном в 1831 г., животной — немецким ученым Т. Шванном в 1838 г.

Ядро состоит из ядерной оболочки, нуклеоплазмы (ядерного сока), хроматина, ядрышка (одного или нескольких) (рисунок 24).

Ядерная оболочка представлена двойной мембраной. Наружная мембрана, граничащая с цитоплазмой, имеет сложную складчатую структуру, местами соединенную с каналами эндоплазматической сети; на ней часто расположены рибосомы. Внутренняя мембрана, контактирующая с нуклеоплазмой, рибосом лишена. Пространство между мембранами ядерной оболочки называется *перинуклеарным*.

Ядерная оболочка пронизана множеством пор диаметром около 30–100 нм. Пory — это не просто пустые отверстия, а участки, заполненные веществом с умеренной электронной плотностью. Область поры, или поровый комплекс, имеет определенное строение. С него начинается белковый слой, подстилающий внутреннюю мембрану кариолеммы, участвующий в ядерно-цитоплазматических перемещениях веществ. Благодаря наличию пор, обеспечивающих избирательную проницаемость, ядерная оболочка контролирует обмен веществ между ядром и цитоплазмой, например, выход в цитоплазму иРНК и рибосомных субъединиц или поступление в ядро белков, нуклеотидов и молекул, регулирующих активность ДНК.

Численность пор колеблется в зависимости от типа и физиологического состояния клетки, на 1 мкм² ядерной оболочки их насчитывается в среднем от 10 до 30. В молодых клетках их всегда больше.

Ядерная оболочка образуется после деления ядра из цистерн эндоплазматической сети и частично из фрагментов старой ядерной оболочки, распавшейся во время деления.

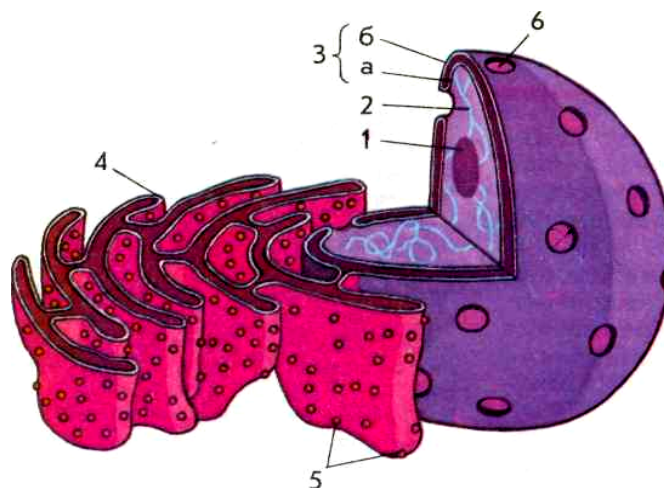


Рисунок 24 — Схема строения ядра:

1 — ядрышко; 2 — хроматин; 3 — ядерная оболочка (а — внутренняя мембрана, б — внешняя мембрана); 4 — шероховатая ЭПС; 5 — рибосомы; 6 — ядерная пора

Внутреннее содержимое ядра составляет гелеобразный матрикс — *нуклеоплазма* (или *ядерный сок*), заполняющий пространство между структурами ядра. В нуклеоплазме находятся одно или несколько ядрышек, хроматин, значительное количество РНК и ДНК, различные белки, в том

числе большинство ферментов ядра, а также различные ионы, свободные нуклеотиды, аминокислоты. Нуклеоплазма осуществляет взаимосвязь всех ядерных структур.

Хроматин на окрашенных препаратах клетки в состоянии покоя представляет собой сеть тонких тяжей (фибрилл), мелких гранул или глыбок. Основу хроматина составляют нуклеопротеины — длинные нитевидные молекулы ДНК, соединенные со специфическими белками — *гистонами*. В процессе деления ядра хроматин спирализуется, укорачивается, тем самым уплотняется (в 100–500 раз) в компактные палочковидные *хромосомы*, которые становятся заметными в световой микроскоп. В состав хромосом входят также РНК, кислые белки, липиды и минеральные вещества (ионы Ca^{2+} и Mg^{2+}), а также фермент ДНК-полимераза, необходимый для репликации (самоудвоения) ДНК.

Каждая хромосома имеет *первичную перетяжку* (утонченный неспирализованный участок), которая делит хромосому на два *плеча*. В области первичной перетяжки (*центромеры*) располагается *кинетохор*, состоящий из ДНК и специализированных белков. К нему прикрепляются нити веретена деления, разводящие хромосомы к полюсам во время деления клетки.

В зависимости от расположения перетяжки определяют три основных вида хромосом: 1) *равноплечие (метацентрические)* — с плечами равной длины; 2) *неравноплечие (субметацентрические)* — с плечами неравной длины; 3) *палочковидные (телоцентрические)* — второе плечо отсутствует; 4) *резко неравноплечие (ахроцентрические)* — с одним длинным и другим очень коротким, едва заметным плечом.

Некоторые хромосомы имеют *вторичную перетяжку*, не связанную с прикреплением нити веретена деления. В области вторичной перетяжки обычно формируется *ядрышко*. Поэтому этот участок хромосомы называется *ядрышковым организатором*.

Каждой клетке того или иного вида живых организмов свойственно определенное число, размеры и форма хромосом. Совокупность хромосом соматической клетки (клетки тела многоклеточного организма), типичную для данной систематической группы протистов, животных или растений, называют *хромосомным набором*, или *кариотипом*.

Число хромосом в зрелых половых клетках называют *гаплоидным набором* и обозначают *n*. Соматические клетки содержат двойное число хромосом (*диплоидный набор*), обозначаемое *2n*. Клетки, имеющие более двух наборов хромосом, называют *полиплоидными* (*4n*, *8n* и т. д.). Парные хромосомы, т. е. одинаковые по форме, структуре и размерам, но имеющие разное происхождение (одна материнская, другая отцовская), называются *гомологичными*.

Количество хромосом в кариотипе не связано с уровнем организации живых организмов: примитивные формы могут иметь большее число хромосом, чем высокоорганизованные, и наоборот. Например, клетки радиолярий (морских протистов) содержат 1000–1600 хромосом, а клетки шимпанзе —

всего 48. Однако следует помнить, что все организмы одного вида имеют одинаковое количество хромосом, т. е. для них характерна видовая специфичность кариотипа. В клетках человека диплоидный набор составляет 46 хромосом, пшеницы мягкой — 42, картофеля — 18, мухи домашней — 12, плодовой мушки дрозофилы — 8. Правда, клетки разных тканей даже одного организма в зависимости от выполняемой функции могут иногда содержать разное число хромосом. Так, например, в клетках печени животных бывает разное число наборов хромосом ($4n$, $8n$). По этой причине понятия «кариотип» и «хромосомный набор» не совсем идентичны.

Ядрышки — это округлые, сильно уплотненные участки клеточного ядра диаметром 1—5 мкм и больше. В состав ядрышек входит около 80 % белка, 10—15 % РНК, некоторое количество ДНК и другие химические компоненты.

Во время деления ядра ядрышки разрушаются, а затем в конце деления формируются вновь. Под контролем генов ядрышковых организаторов осуществляется синтез рибосомной РНК. В ядрышке происходит объединение РНК с белком, в результате чего образуются рибонуклеопротеидные субъединицы рибосом. Последние через поры ядерной оболочки переходят в цитоплазму, где заканчивается их формирование.

Таким образом, ядрышко является местом синтеза рибосомной РНК и самосборки субъединиц рибосом.

Ядро является местом хранения и воспроизводства наследственной информации, определяющей признаки данной клетки и всего организма. Ядро служит также центром управления обменом веществ клетки, определяя, какие белки и в какое время должны синтезироваться. Поэтому после удаления ядра из клетки она, как правило, быстро погибает.

Большинство клеток имеют одно ядро, изредка встречаются двуядерные (клетки печени) и многоядерные (клетки протистов, водорослей и грибов, а также клетки поперечнополосатых мышц).

Форма и размеры ядра очень изменчивы и зависят от вида организма, а также от типа, возраста и функционального состояния клетки. Ядро может быть линзо-, веретено- или шаровидным (5—20 мкм в диаметре), а также многолопастным. Лопастная форма обеспечивает большую площадь соприкосновения ядерной оболочки с цитоплазмой, что, по-видимому, способствует увеличению скорости биохимических реакций.

Функции ядра:

- 1) регуляция всех процессов жизнедеятельности клетки;
- 2) хранение генетической информации, заключенной в ДНК, и передача ее дочерним клеткам в процессе клеточного деления.

ЗАДАЧИ К РАЗДЕЛУ «ЦИТОЛОГИЯ»

1. Сколько содержится адениловых, тимидиловых, гуаниловых, цитидиловых нуклеотидов (в отдельности) в фрагменте молекулы ДНК, если в нем обнаружено 96 Ц нуклеотидов, которые составляют 20 % от общего количества нуклеотидов в этом фрагменте?

2. Одна из цепочек молекулы ДНК имеет такую последовательность нуклеотидов: АГТ–АЦЦ–ГАТ–АЦТ–ЦГА–ТТТ–АЦГ...

Какую последовательность нуклеотидов имеет вторая цепочка той же молекулы?

3. Укажите порядок нуклеотидов в цепочке ДНК, образующейся путем самокопирования данной цепочки: ЦАЦ–ГЦТ–АЦА–ГАА–ТЦГ–ЦТТ–АТ...

4. Напишите последовательность нуклеотидов ДНК, дополнительно к следующей: АГГ–ЦЦТ–АГТ–ГТА–АТА–ГЦЦ...

5. Фрагмент молекулы ДНК состоит из 3000 нуклеотидов, из них цитидиловых нуклеотидов — 650. Определите длину данного фрагмента и количество адениловых, тимидиловых и гуаниловых нуклеотидов.

6. Фрагмент молекулы ДНК состоит из 700 пар нуклеотидов. Определите длину данного фрагмента ДНК.

7. Фрагмент молекулы ДНК состоит из 950 пар нуклеотидов, из них адениловых нуклеотидов — 340. Определите длину данного фрагмента и количество гуаниловых, тимидиловых и цитидиловых нуклеотидов.

8. Молекула ДНК состоит из 3600 нуклеотидов. Определите число полных спиральных витков в данной молекуле.

9. Определите количество водородных связей во фрагменте молекулы ДНК, если одна из цепей имеет следующую последовательность нуклеотидов: ТЦГ–АГТ–АЦЦ–ТАТ–ГАТ–ЦЦЦ...

10. Длина участка молекулы ДНК составляет 272 нм. Определите количество нуклеотидов в одной цепи ДНК.

11. В молекуле ДНК 17 % цитидиловых нуклеотидов. Определите количество гуаниловых нуклеотидов.

12. В молекуле ДНК 22 % тимидиловых нуклеотидов. Определите количество гуаниловых нуклеотидов.

13. Длина участка молекулы ДНК составляет 136 нм, адениловых нуклеотидов в молекуле 18 %. Определить количество других нуклеотидов.

14. Молекулярная масса молекулы ДНК составляет 17250 г/моль. Определите количество нуклеотидов в молекуле и ее длину.

15. Молекулярная масса молекулы ДНК составляет 27600 г/моль. Определите количество нуклеотидов в молекуле и ее длину.

16. Дана цепь молекулы ДНК: АТГ-ААА-ГЦА-ТАТ-АТТ-ГЦЦ-АА.

Найти количество (в процентах) Ц-нуклеотидов.

17. В молекуле ДНК обнаружено 450 Ц нуклеотидов, которые составляют 15 % от общего числа нуклеотидов этой ДНК. Определить:

- а) Сколько содержится других нуклеотидов?
- б) Какова длина ДНК?

18. Дана молекула ДНК с относительной молекулярной массой 62100, из них 5520 приходится на долю Ц нуклеотидов.

- а) Сколько содержится нуклеотидов по отдельности?
- б) Какова длина этой ДНК?

19. По мнению ученых, общая длина всех молекул ДНК в ядре одной половой клетки человека составляет приблизительно 95 см. Сколько пар нуклеотидов содержится в ДНК одной половой клетки человека?

Некоторые параметры молекул ДНК:

- Один шаг это полный виток спирали ДНК — поворот на 360° .
- Один шаг составляют 10 пар нуклеотидов.
- Длина одного шага — 3,4 нм.
- Расстояние между двумя нуклеотидами — 0,34 нм.
- Молекулярная масса одного нуклеотида — 345 г/моль.
- В молекуле ДНК: $A + G = T + C$ (Правило Чаргаффа).
- Комплементарность нуклеотидов: $A = T$; $G = C$.
- Цепи ДНК удерживаются водородными связями, которые образуются между комплементарными азотистыми основаниями: аденин с тиминем соединяются 2 водородными связями, а гуанин с цитозином — тремя.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богданова, Т. Л.* Биология. Справочник для старшеклассников и поступающих в вузы / Т. Л. Богданова, Е. А. Солодова. — М.: АСТ-пресс, 2001.
2. Биология: 1600 задач, тестов и проверочных работ для школьников и поступающих в вузы / Т. А. Дмитриев [и др.]. — М.: Дрофа, 1999.
3. *Каминская, Э. А.* Сборник задач по генетике / Э. А. Каминская. — Минск: Выш. шк., 1982.
4. *Ксенофонтов, В. В.* Цитология. Генетика / В. В. Ксенофонтов, О. Г. Машанова, В. В. Евстафьев. — М.: Московский лицей, 1996.
5. *Лисов, Н. Д.* Общая биология, 10 класс. — Минск: Ураджай, 2001. — С. 138–181.
6. *Чебышев, Н. В.* Биология / Н. В. Чебышев, С. В. Кузнецов, С. Г. Зайчикова. — М.: Новая волна. Оникс, 2000. — С. 72–134. — Т. 1.
7. *Лемеза, Н. А.* Учебное пособие по биологии для поступающих в вузы / Н. А. Лемеза, Л. В. Камлюк, Н. Д. Лисов. — Минск: ЧУП Издательство Юнипресс, 2005. — С. 109–179.
8. *Лисов, Н. Д.* Биология. Учимся быстро решать тесты / Н. Д. Лисов. — Минск: ТетраСистемс, 2005.
9. *Болгова, И. В.* Сборник задач по общей биологии для поступающих в вузы / И. В. Болгова. — М.: Оникс 21 век. Мир и образование, 2005. — С. 46–173.
10. *Общая биологи, 10 класс / Н. Д. Лисов [и др.].* — Минск: Народная асвета, 2009. — С. 6–73.

Учебное издание

Овсеян Светлана Васильевна
Боброва Светлана Николаевна

**СТРОЕНИЕ
И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ
КЛЕТОК ЭУКАРИОТ**

**Учебно-методическое пособие
для практических занятий по цитологии
для слушателей подготовительных курсов факультета по подготовке
специалистов для зарубежных стран медицинских вузов**

Редактор *Т. М. Кожмякина*
Компьютерная верстка *С. Н. Козлович*

Подписано в печать 26.02.2014.
Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная 70 г/м². Гарнитура «Таймс».
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 3,05. Тираж 100 экз. Заказ № 52.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,

изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/46 от 03.10.2013.
Ул. Ланге, 5, 246000, Гомель