

Лекция №5. Химическая организация клетки.

Неорганические вещества, входящие в состав клетки.

Вода. Соли

Биологически важные химические соединения

В состав организмов входят около 80 элементов, причём только в отношении 24 известно, какие функции в клетке они выполняют.

Набор этих элементов не случаен. Жизнь зародилась в водах Мирового океана, и живые организмы состоят преимущественно из этих элементов, которые образуют легко растворимые в воде соединения.

В зависимости от частоты встречаемости в составе веществ живого организма различают:

органогены: O – 65–75 %; C – 15–18 %; H – 8–10 %; N – 1,5–3 %; - 98%

макроэлементы: Mg, Na, Ca, Fe, K, S, P, Cl \approx 1,9 %;

микроэлементы: Zn, Cu, Co, J, F, Mn \approx 0,02 %.

Сходный элементарный состав имеют клетки большинства животных; отличаются лишь клетки растений и микроорганизмов.

Даже те элементы, которые в клетках содержатся в ничтожно малых количествах, ничем не могут быть заменены и совершенно необходимы для жизни. Так, содержание йода в клетках не превышает 0,01 %. Однако при недостатке его в почве (в пищевых продуктах) задерживается рост и развитие детей.

Неорганические соединения

Вода – одно из самых распространённых веществ на Земле. Она покрывает большую часть земной поверхности. Почти все живые существа состоят в основном из воды. У человека содержание H_2O в различных органах и тканях варьирует от 20 % (в костной ткани) до 85 % (в головном мозге). Около 2/3 массы человека состоит из воды, даже в сухих семенах растений вода составляет 10–12 %. Уникальные свойства воды определяются структурой её молекул.

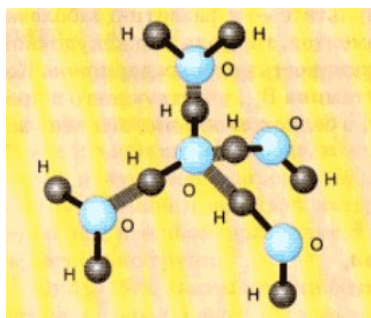


Схема образования связей между диполями

ВОДЫ

По прочности водородная связь ~ в 15–20 раз слабее ковалентной связи, следовательно, легко разрывается. Т. о., в жидкой воде молекулы воды легкоподвижные.

Функция воды в клетке:

- растворитель,
- источник кислорода,
- осмотический регулятор,
- среда для физиологических и биохимических процессов,
- среда для хим. реакций,
- терморегулятор,
- продукт хим. реакций.

Гидрофобные – практически не растворимые в воде вещества (жиры).

Гидрофильные – растворимые в воде (соли, сахар, аминокислоты).

Минералы в человеческом теле – это и так называемые *макроэлементы* (которых действительно много), и *микроэлементы*, которых в нем всего 0,04–0,06 %. Между человеческим организмом и окружающей средой постоянно идет обмен веществ, происходит убыль макро- и микроэлементов. Содержание и тех, и других человеку приходится непрерывно пополнять.

Большая часть неорганических веществ в клетке находится в виде солей. От концентрации солей в клетке зависят буферные свойства клетки.

Буферность– способность клетки поддерживать слабощелочную реакцию на постоянном уровне.

Функции некоторых ионов в клетке

Na^+ , K^+	передача возбуждения по нерву или мышце
Ca^{+2} , Mg^{+2}	активизируют ферменты
H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}	изменяют активность ферментов
HSO_4^- , SO_4^{2-}	выводят нерастворимые в воде чужеродные вещества

Макроэлементов (кальция Ca, фосфора P, магния Mg, калия K, натрия Na, хлора Cl, серы S) человеку требуется сравнительно много: до двух-трех граммов в сутки. А потребность человека в микроэлементах (таких, как железо Fe, медь Cu, марганец Mn, цинк Zn, кобальт Co, иод I, фтор F, хром Cr, молибден Mo и др.) составляет в сутки всего лишь несколько миллиграммов, а порой и того меньше. Однако, если их не хватает, наступает

беда: без одних нарушаются процессы кроветворения, без других не могут нормально функционировать железы внутренней секреции, иначе говоря, становятся невозможны рост, развитие и жизнедеятельность организма. Все необходимые человеку макро- и микроэлементы должны присутствовать в рационе питания, причем в строго определенном соотношении. В организме должно поддерживаться некоторое кислотно-щелочное равновесие: натрий, калий, кальций (элементы, которые биохимики и физиологи называют "щелочными") должны преобладать над серой, фосфором, хлором, фтором и другими "кислотными" элементами. В большинстве распространенных продуктов питания (мясе, рыбе, яйцах, сыре, крупе и мучных изделиях) основная часть минеральных веществ служит источником макро- и микроэлементов кислотного типа. Поэтому ограничиваться в рационе питания одними этими продуктами недопустимо. Наибольшее "ощелачивающее" действие оказывают овощи и фрукты. Вдобавок овощи – это и важнейший источник калия, помогающего деятельности сердца. Фосфаты кальция, в частности ортофосфат, составляют минеральную основу костей и зубов. Другие соединения кальция участвуют в нервной и мышечной деятельности, входят в состав тканевой жидкости, ядер и стенок клеточной ткани живого организма. Кальций уменьшает аллергические реакции, а это особенно важно в наше время. Суточная потребность в кальции от 0,8 до 2 г, а источники этого элемента – молоко и кефир, творог, сыр, рыба, фасоль, петрушка, зеленый лук, а также яйца, гречка, овсянка, морковь и горох. Но в пище есть и "враги" кальция, которые препятствуют усвоению этого элемента. Главные "антикальцины" – это щавелевая кислота и фитин, связывающие кальций в неусвояемую форму. Со щавелевой кислотой кальций образует малорастворимый оксалат кальция, а фитин тоже довольно прочно удерживает кальций. Важно не злоупотреблять блюдами из щавеля и шпината, в листьях которых 0,1–0,5 % щавелевой кислоты. Фитин, присутствующий в овощах и злаках, разрушается при нагревании, и поэтому причиняет меньше неприятностей. Поэтому ржаной хлеб полезнее пшеничного – в нем фитина меньше (однако в некоторых случаях врачи прописывают фитин как лекарство).

Фосфор также относится к макроэлементам, необходимым организму. Помимо зубной, костной и нервной тканей, фосфорные соединения входят в состав жиров (фосфолипидов), многих белков, биологически активных веществ, таких как ферменты. Фосфор поступает в организм обычно с белковой пищей.

Ученые-медики считают, что следует строго выдерживать соотношение кальция и фосфора, поступающих человеку с пищей; оптимальным признано

соотношение этих элементов, равное 1:1 по массе (или, в крайнем случае, 1:1,5). При избытке фосфора возможна даже потеря кальция костной тканью (остеопороз), что ведет к уменьшению их прочности и частым переломам.

Магний наряду с кальцием в виде ортофосфата образует костную ткань. Им богаты все зеленые овощи: магний входит в состав хлорофилла. Кушайте свежую зелень, желателен круглый год, и вы обеспечите потребность своего организма в магнии, составляющую ежедневно 0,4 г.

Калий и натрий – два регулятора водно-солевого обмена в организме: калий выводит воду, а натрий накапливает. Обычно в растительной пище калия в 5–10 раз больше, чем натрия, поэтому при гипертонической болезни и при отеках, когда надо избавляться от лишней воды в организме, врачи назначают растительную и бессолевую (без хлорида натрия) диету.

Потребность человека в хлоре обычно удовлетворяется за счет поваренной соли NaCl. Хлор совершенно необходим для получения соляной кислоты HCl, которая постоянно образуется в желудке. Поскольку хлорид натрия выводится из организма, когда человек потеет, то потребность в поваренной соли у работающих в жарком климате или в горячих цехах больше. Она возрастает до 20–25 г в сутки.

Для кроветворения и тканевого дыхания необходимо железо, входящее в состав гемоглобина крови и миоглобина мышц. Этот элемент переносит кислород в организме. Особенно богаты железом, причем в хорошо усвояемой форме, печень, мясо, рыба, икра, а из фруктов и овощей – яблоки, смородина, гранаты. Однако некоторые медики в последние годы высказывали мнение, что железо усваивается организмом человека лишь из продуктов животного происхождения.

Потребность человека в **микроэлементах** в количественном отношении намного (в 400–500 раз) меньше, чем в макроэлементах, но это именно тот случай, когда "мал золотник, да дорог". Так, фтор необходим для здоровья костной и особенно зубной ткани; цинк, кобальт и медь – кроветворные элементы, а соединения марганца ответственны за рост, размножение и уровень холестерина в крови, недостаток этого элемента ведет к возникновению нервных расстройств. Источником цинка, меди и кобальта служат овощи: морковь, капуста, петрушка и особенно свекла.

Химическая организация клетки. Неорганические вещества

Вещество	Поступление в клетку	Местонахождение и преобразование	Функции
Вода	У растений – из окружающей среды; у	В цитоплазме, вакуолях, матриксе органелл, ядерном	Растворитель, источник кислорода,

Вещество	Поступление в клетку	Местонахождение и преобразование	Функции
	животных образуется непосредственно в клетке при расщеплении жиров, белков, углеводов и поступает из окружающей среды	соке, клеточной стенке, межклетниках. Вступает в реакции синтеза, гидролиза и окисления	осмотический регулятор, среда для физиологических и биохимических процессов, химический компонент, терморегулятор
Соединения азота	У растений – из окружающей среды в виде ионов NH_4^+ и NO_3^- ; у животных – с пищей в виде белков и аминокислот	В клетках растений ионы аммония и нитратов восстанавливаются до NH_2 и включаются в синтез аминокислот; у животных аминокислоты идут на построение собственных белков. При отмирании организмов включаются в круговорот веществ в форме свободного азота	Входят в состав белков, аминокислот, нуклеиновых кислот (ДНК, РНК) и АТФ
Соединения фосфора	У растений – из окружающей среды в виде ионов H_2PO_4^- и HPO_4^{2-} ; у животных – с пищей в форме органических (фосфолипиды) и неорганических соединений	Соли фосфора – фосфаты, находясь в почве, растворяются корневыми выделениями растений и усваиваются. Остатки фосфорной кислоты при отмирании организмов минерализуются, образуя соли.	Входят в состав всех мембранных структур, нуклеиновых кислот (ДНК, РНК) и АТФ. ферментов, тканей (костной)
Соединения калия	У растений – из внешней среды в виде иона K^+ ; у животных – с пищей	Калий содержится во всех клетках в виде ионов K^+ , концентрация которых намного выше, чем в окружающей среде. После отмирания возвращается в окружающую среду в виде ионов	"Калиевый насос" клетки способствует проникновению веществ через мембрану. Активизирует жизнедеятельность клетки, проведение возбуждения и импульсов
Соединения кальция	У растений – из внешней среды в виде ионов Ca^{2+} ; у животных – с пищей	Кальций содержится в клетках в виде ионов или кристаллов солей	Образует межклеточное вещество и кристаллы в клетках растений. Входит в состав крови,

Вещество	Поступление в клетку	Местонахождение и преобразование	Функции
			способствует ее свертыванию. Входит в состав костей, раковин...

Лекция №6. Органические вещества клетки. Структура и функции углеводов и липидов.

1. Структура, примеры и функции углеводов

Углеводы — органические соединения, состав которых в большинстве случаев выражается общей формулой $C_n(H_2O)_m$ (n и $m \geq 4$). Углеводы подразделяются на моносахариды, олигосахариды и полисахариды.

Моносахариды — простые углеводы, в зависимости от числа атомов углерода подразделяются на триозы (3), тетразы (4), пентозы (5), гексозы (6) и гептозы (7 атомов). Наиболее распространены пентозы и гексозы. **Свойства моносахаридов** — легко растворяются в воде, кристаллизуются, имеют сладкий вкус, могут быть представлены в форме α - или β -изомеров.

Рибоза и дезоксирибоза относятся к группе пентоз, входят в состав нуклеотидов РНК и ДНК.

Глюкоза, или виноградный сахар ($C_6H_{12}O_6$), относится к группе гексоз, может существовать в виде α -глюкозы или β -глюкозы. **Глюкоза** — это:

- один из самых распространенных моносахаридов,
- важнейший источник энергии для всех видов работ, происходящих в клетке (эта энергия выделяется при окислении глюкозы в процессе дыхания),
- мономер многих олигосахаридов и полисахаридов,
- необходимый компонент крови.

Фруктоза, или фруктовый сахар, относится к группе гексоз, слаще глюкозы, в свободном виде содержится в меде (более 50%) и фруктах. Является мономером многих олигосахаридов и полисахаридов.

Олигосахариды — углеводы, образующиеся в результате реакции конденсации между несколькими (от двух до десяти) молекулами моносахаридов. В зависимости от числа остатков моносахаридов различают

дисахариды, трисахариды и т. д. Наиболее распространены дисахариды. **Свойства олигосахаридов** — растворяются в воде, кристаллизуются, сладкий вкус уменьшается по мере увеличения числа остатков моносахаридов. Связь, образующаяся между двумя моносахаридами, называется **гликозидной**.

Сахароза, или тростниковый, или свекловичный сахар, — дисахарид, состоящий из остатков глюкозы и фруктозы. Содержится в тканях растений. Является продуктом питания (бытовое название — **сахар**). В промышленности сахарозу вырабатывают из сахарного тростника (стебли содержат 10–18%) или сахарной свеклы (корнеплоды содержат до 20% сахарозы).

Мальтоза, или солодовый сахар, — дисахарид, состоящий из двух остатков глюкозы. Присутствует в прорастающих семенах злаков.

Лактоза, или молочный сахар, — дисахарид, состоящий из остатков глюкозы и галактозы. Присутствует в молоке всех млекопитающих (2–8,5%).

Полисахариды — это углеводы, образующиеся в результате реакции поликонденсации множества (несколько десятков и более) молекул моносахаридов. **Свойства полисахаридов** — не растворяются или плохо растворяются в воде, не образуют ясно оформленных кристаллов, не имеют сладкого вкуса.

Крахмал ($C_6H_{10}O_5)_n$ — полимер, мономером которого является α -глюкоза. Полимерные цепочки крахмала содержат разветвленные (амилопектин) и неразветвленные (амилоза) участки. Крахмал — основной резервный углевод растений, является одним из продуктов фотосинтеза, накапливается в семенах, клубнях, корневищах, луковицах. Содержание крахмала в зерновках риса — до 86%, пшеницы — до 75%, кукурузы — до 72%, в клубнях картофеля — до 25%. **Крахмал** — **основной углевод** пищи человека (пищеварительный фермент — амилаза).

Гликоген ($C_6H_{10}O_5)_n$ — полимер, мономером которого также является α -глюкоза. Полимерные цепочки гликогена напоминают амилопектиновые участки крахмала, но в отличие от них ветвятся еще сильнее. Гликоген — основной резервный углевод животных, в частности, человека. Накапливается в печени (содержание — до 20%) и мышцах (до 4%), является источником глюкозы.

Целлюлоза ($C_6H_{10}O_5)_n$ — полимер, мономером которого является β -глюкоза. Полимерные цепочки целлюлозы не ветвятся. Основной структурный полисахарид клеточных стенок растений. Содержание целлюлозы в древесине — до 50%, в волокнах семян хлопчатника — до 98%. Целлюлоза не расщепляется пищеварительными соками человека, т.к. у него

отсутствует фермент целлюлаза, разрывающий связи между β -глюкозами.

Инулин — полимер, мономером которого является фруктоза. Резервный углевод растений семейства Сложноцветные.

Гликолипиды — комплексные вещества, образующиеся в результате соединения углеводов и липидов.

Гликопротеины — комплексные вещества, образующиеся в результате соединения углеводов и белков.

Функции углеводов

Функция	Примеры и пояснения
Энергетическая	Основной источник энергии для всех видов работ, происходящих в клетках. При расщеплении 1 г углеводов выделяется 17,6 кДж.
Структурная	Из целлюлозы состоит клеточная стенка растений, из муреина — клеточная стенка бактерий, из хитина — клеточная стенка грибов и покровы членистоногих.
Запасающая	Резервным углеводом у животных и грибов является гликоген, у растений — крахмал, инулин.
Защитная	Слизи предохраняют кишечник, бронхи от механических повреждений. Гепарин предотвращает свертывание крови у животных и человека.
Сигнальная	Образует рецепторный аппарат на поверхности клеток - гликокаликс.

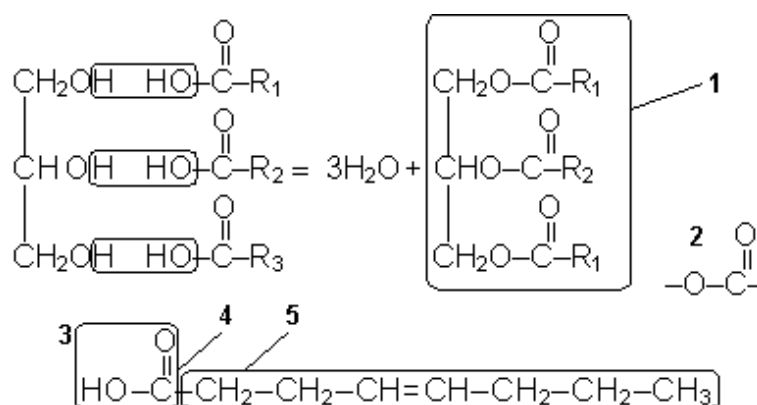
2. Строение и функции липидов

Липиды не имеют единой химической характеристики. В большинстве пособий, давая **определение липидам**, говорят, что это сборная группа нерастворимых в воде органических соединений, которые можно извлечь из клетки органическими растворителями — эфиром, хлороформом и бензолом. Липиды можно условно разделить на : простые и сложные.

Простые липиды в большинстве представлены сложными эфирами высших жирных кислот и трехатомного спирта глицерина — триглицеридами. **Жирные кислоты** имеют: 1) одинаковую для всех кислот группировку — карбоксильную группу ($-\text{COOH}$) и 2) радикал, которым они отличаются друг от друга. Радикал представляет собой цепочку из различного количества (от 14 до 22) группировок $-\text{CH}_2-$. Иногда радикал

жирной кислоты содержит одну или несколько двойных связей ($-\text{CH}=\text{CH}-$), такую **жирную кислоту называют ненасыщенной**. Если жирная кислота не имеет двойных связей, ее называют **насыщенной**. При образовании триглицерида каждая из трех гидроксильных групп глицерина вступает в реакцию конденсации с жирной кислотой с образованием трех сложноэфирных связей.

Если в триглицеридах преобладают **насыщенные жирные кислоты**, то при 20°C они — твердые; их называют **жирами**, они характерны для животных клеток. Если в триглицеридах преобладают **ненасыщенные жирные кислоты**, то при 20°C они — жидкие; их называют **маслами**, они характерны для растительных клеток.



1 — триглицерид; 2 — сложноэфирная связь; 3 — ненасыщенная жирная кислота;
4 — гидрофильная головка; 5 — гидрофобный хвост.

Плотность триглицеридов ниже, чем у воды, поэтому в воде они всплывают, находятся на ее поверхности.

К простым липидам также относят **воски** — сложные эфиры высших жирных кислот и высокомолекулярных спиртов (обычно с четным числом атомов углерода).

Сложные липиды. К ним относят фосфолипиды, гликолипиды, липопротеины и др.

Фосфолипиды — триглицериды, у которых один остаток жирной кислоты замещен на остаток фосфорной кислоты. Принимают участие в формировании клеточных мембран.

Гликолипиды — см. выше.

Липопротеины — комплексные вещества, образующиеся в результате соединения липидов и белков.

Липоиды — жироподобные вещества. К ним относятся каротиноиды (фотосинтетические пигменты), стероидные гормоны (половые гормоны, минералокортикоиды, глюкокортикоиды), гиббереллины (ростовые вещества растений), жирорастворимые витамины (A, D, E, K), холестерин, камфора и т.д.

Функции липидов

Функция	Примеры и пояснения
Энергетическая	Основная функция триглицеридов. При расщеплении 1 г липидов выделяется 38,9 кДж.
Структурная	Фосфолипиды, гликолипиды и липопротеины принимают участие в образовании клеточных мембран.
Запасающая	Жиры и масла являются резервным пищевым веществом у животных и растений. Важно для животных, впадающих в холодное время года в спячку или совершающих длительные переходы через местность, где нет источников питания. Масла семян растений необходимы для обеспечения энергией проростка.
Защитная	Прослойки жира и жировые капсулы обеспечивают амортизацию внутренних органов. Слои воска используются в качестве водоотталкивающего покрытия у растений и животных.
Теплоизоляционная	Подкожная жировая клетчатка препятствует оттоку тепла в окружающее пространство. Важно для водных млекопитающих или млекопитающих, обитающих в холодном климате.
Регуляторная	Гиббереллины регулируют рост растений. Половой гормон тестостерон отвечает за развитие мужских вторичных половых признаков. Половой гормон эстроген отвечает за развитие женских вторичных половых признаков, регулирует менструальный цикл. Минералокортикоиды (альдостерон и др.) контролируют водно-солевой обмен. Глюкокортикоиды (кортизол и др.) принимают участие в регуляции углеводного и белкового обменов.
Источник метаболической воды	При окислении 1 кг жира выделяется 1,1 кг воды. Важно для обитателей пустынь.
Каталитическая	Жирорастворимые витамины А, D, E, К являются кофакторами ферментов, т.е. сами по себе эти витамины не обладают каталитической активностью, но без них ферменты не могут выполнять свои функции.

Лекция №7. Биополимеры - белки, их строение и функции. Ферменты.

Строение белков

Белки — высокомолекулярные органические соединения, состоящие из остатков α -аминокислот.

В **состав белков** входят углерод, водород, азот, кислород, сера. Часть белков образует комплексы с другими молекулами, содержащими фосфор, железо, цинк и медь.

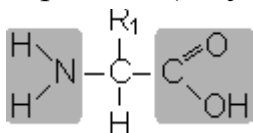
Белки обладают большой молекулярной массой: яичный альбумин — 36 000, гемоглобин — 152 000, миозин — 500 000. Для сравнения: молекулярная масса спирта — 46, уксусной кислоты — 60, бензола — 78.

Аминокислотный состав белков

Белки — неперiodические полимеры, мономерами которых являются α -аминокислоты. Обычно в качестве мономеров белков называют 20 видов α -аминокислот, хотя в клетках и тканях их обнаружено свыше 170.

В зависимости от того, могут ли аминокислоты синтезироваться в организме человека и других животных, различают: **заменимые аминокислоты** — могут синтезироваться; **незаменимые аминокислоты** — не могут синтезироваться. Незаменимые аминокислоты должны поступать в организм вместе с пищей. Растения синтезируют все виды аминокислот.

В зависимости от аминокислотного состава, **белки бывают: полноценными** — содержат весь набор аминокислот; **неполноценными** — какие-то аминокислоты в их составе отсутствуют. Если белки состоят только из аминокислот, их называют **простыми**. Если белки содержат помимо аминокислот еще и неаминокислотный компонент (простетическую группу), их называют **сложными**. Простетическая группа может быть представлена металлами (металлопротеины), углеводами (гликопротеины), липидами (липопротеины), нуклеиновыми кислотами (нуклеопротеины).



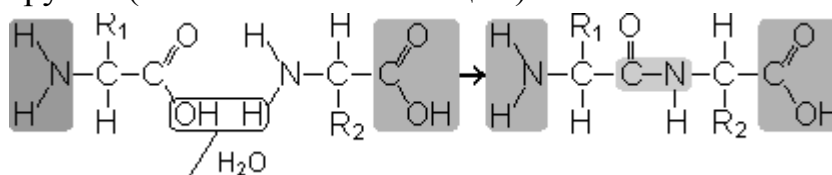
Все **аминокислоты содержат**: 1) карбоксильную группу ($-\text{COOH}$), 2) аминогруппу ($-\text{NH}_2$), 3) радикал или R-группу (остальная часть молекулы). Строение радикала у разных видов аминокислот — различное. В зависимости от количества аминогрупп и карбоксильных групп, входящих в состав аминокислот, различают: **нейтральные аминокислоты**, имеющие одну карбоксильную группу и одну аминогруппу; **основные аминокислоты**, имеющие более одной аминогруппы; **кислые аминокислоты**, имеющие более одной карбоксильной группы.

Аминокислоты являются **амфотерными соединениями**, так как в растворе они могут выступать как в роли кислот, так и оснований. В водных растворах аминокислоты существуют в разных ионных формах.

Пептидная связь

Пептиды — органические вещества, состоящие из остатков аминокислот, соединенных пептидной связью.

Образование пептидов происходит в результате реакции конденсации аминокислот. При взаимодействии аминогруппы одной аминокислоты с карбоксильной группой другой между ними возникает ковалентная азот-углеродная связь, которую и называют **пептидной**. В зависимости от количества аминокислотных остатков, входящих в состав пептида, различают **дипептиды**, **трипептиды**, **тетрапептиды** и т.д. Образование пептидной связи может повторяться многократно. Это приводит к образованию **полипептидов**. На одном конце пептида находится свободная аминогруппа (его называют N-концом), а на другом — свободная карбоксильная группа (его называют С-концом).



Пространственная организация белковых молекул

Выполнение белками определенных специфических функций зависит от пространственной конфигурации их молекул, кроме того, клетке энергетически невыгодно держать белки в развернутой форме, в виде цепочки, поэтому полипептидные цепи подвергаются укладке, приобретая определенную трехмерную структуру, или конформацию. Выделяют 4 уровня **пространственной организации белков**.

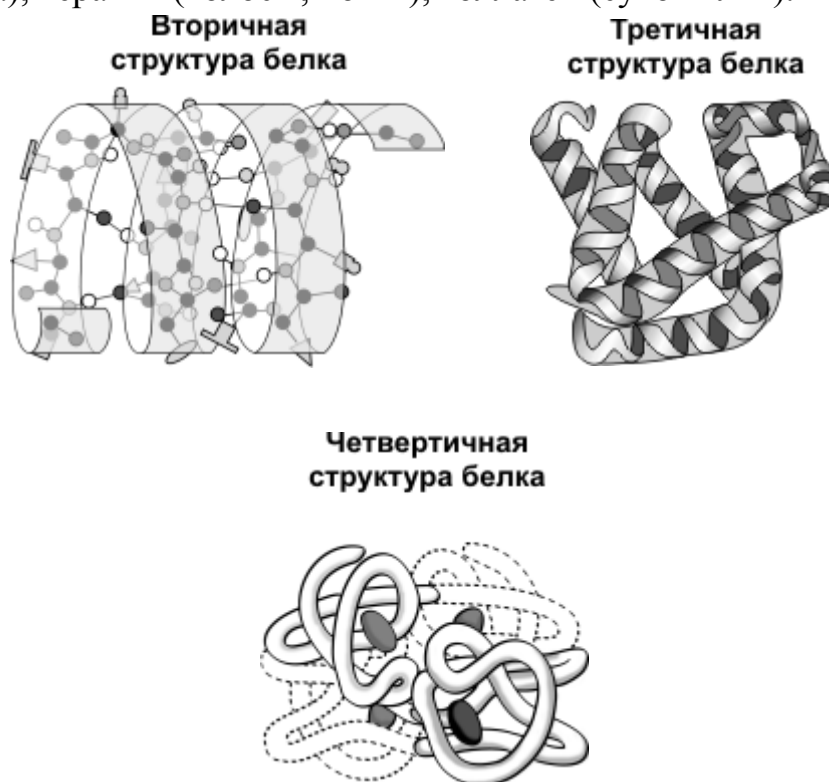
Первичная структура белка — последовательность расположения аминокислотных остатков в полипептидной цепи, составляющей молекулу белка. Связь между аминокислотами — пептидная.

Если молекула белка состоит всего из 10 аминокислотных остатков, то число теоретически возможных вариантов белковых молекул, отличающихся порядком чередования аминокислот, — 10^{20} . Имея 20 аминокислот, можно составить из них еще большее количество разнообразных комбинаций. В организме человека обнаружено порядка десяти тысяч различных белков, которые отличаются как друг от друга, так и от белков других организмов.

Именно первичная структура белковой молекулы определяет свойства молекул белка и ее пространственную конфигурацию. Замена всего лишь одной аминокислоты на другую в полипептидной цепочке приводит к

изменению свойств и функций белка. Например, замена в β -субъединице гемоглобина шестой глутаминовой аминокислоты на валин приводит к тому, что молекула гемоглобина в целом не может выполнять свою основную функцию — транспорт кислорода; в таких случаях у человека развивается заболевание — серповидноклеточная анемия.

Вторичная структура — упорядоченное свертывание полипептидной цепи в спираль (имеет вид растянутой пружины). Витки спирали укрепляются водородными связями, возникающими между карбоксильными группами и аминогруппами. Практически все CO- и NH-группы принимают участие в образовании водородных связей. Они слабее пептидных, но, повторяясь многократно, придают данной конфигурации устойчивость и жесткость. На уровне вторичной структуры существуют белки: фиброин (шелк, паутина), кератин (волосы, ногти), коллаген (сухожилия).



Третичная структура — укладка полипептидных цепей в глобулы, возникающая в результате возникновения химических связей (водородных, ионных, дисульфидных) и установления гидрофобных взаимодействий между радикалами аминокислотных остатков. Основную роль в образовании третичной структуры играют гидрофильно-гидрофобные взаимодействия. В водных растворах гидрофобные радикалы стремятся спрятаться от воды, группируясь внутри глобулы, в то время как гидрофильные радикалы в результате гидратации (взаимодействия с диполями воды) стремятся оказаться на поверхности молекулы. У некоторых белков третичная структура стабилизируется дисульфидными ковалентными связями,

возникающими между атомами серы двух остатков цистеина. На уровне третичной структуры существуют ферменты, антитела, некоторые гормоны.

Четвертичная структура характерна для сложных белков, молекулы которых образованы двумя и более глобулами. Субъединицы удерживаются в молекуле благодаря ионным, гидрофобным и электростатическим взаимодействиям. Иногда при образовании четвертичной структуры между субъединицами возникают дисульфидные связи. Наиболее изученным белком, имеющим четвертичную структуру, является **гемоглобин**. Он образован двумя α -субъединицами (141 аминокислотный остаток) и двумя β -субъединицами (146 аминокислотных остатков). С каждой субъединицей связана молекула гема, содержащая железо.

Если по каким-либо причинам пространственная конформация белков отклоняется от нормальной, белок не может выполнять свои функции. Например, причиной «коровьего бешенства» (губкообразной энцефалопатии) является аномальная конформация прионов — поверхностных белков нервных клеток.

Свойства белков

Аминокислотный состав, структура белковой молекулы определяют его **свойства**. Белки сочетают в себе основные и кислотные свойства, определяемые радикалами аминокислот: чем больше кислых аминокислот в белке, тем ярче выражены его кислотные свойства. Способность отдавать и присоединять H^+ определяют **буферные свойства белков**; один из самых мощных буферов — гемоглобин в эритроцитах, поддерживающий pH крови на постоянном уровне. Есть белки растворимые (фибриноген), есть нерастворимые, выполняющие механические функции (фиброин, кератин, коллаген). Есть белки активные в химическом отношении (ферменты), есть химически неактивные, устойчивые к воздействию различных условий внешней среды и крайне неустойчивые.

Внешние факторы (нагревание, ультрафиолетовое излучение, тяжелые металлы и их соли, изменения pH, радиация, обезвоживание)

могут вызывать нарушение структурной организации молекулы белка. Процесс утраты трехмерной конформации, присущей данной молекуле белка, называют **денатурацией**. Причиной денатурации является разрыв связей, стабилизирующих определенную структуру белка. Первоначально рвутся наиболее слабые связи, а при ужесточении условий и более сильные. Поэтому сначала утрачивается четвертичная, затем третичная и вторичная структуры. Изменение пространственной конфигурации приводит к изменению свойств белка и, как следствие, делает невозможным выполнение белком свойственных ему биологических функций. Если денатурация не

сопровождается разрушением первичной структуры, то она может быть **обратимой**, в этом случае происходит самовосстановление свойственной белку конформации. Такой денатурации подвергаются, например, рецепторные белки мембраны. Процесс восстановления структуры белка после денатурации называется **ренатурацией**. Если восстановление пространственной конфигурации белка невозможно, то денатурация называется **необратимой**.

Функции белков

Функция	Примеры и пояснения
Строительная	Белки участвуют в образовании клеточных и внеклеточных структур: входят в состав клеточных мембран (липопротеины, гликопротеины), волос (кератин), сухожилий (коллаген) и т.д.
Транспортная	Белок крови гемоглобин присоединяет кислород и транспортирует его от легких ко всем тканям и органам, а от них в легкие переносит углекислый газ; в состав клеточных мембран входят особые белки, которые обеспечивают активный и строго избирательный перенос некоторых веществ и ионов из клетки во внешнюю среду и обратно.
Регуляторная	Гормоны белковой природы принимают участие в регуляции процессов обмена веществ. Например, гормон инсулин регулирует уровень глюкозы в крови, способствует синтезу гликогена, увеличивает образование жиров из углеводов.
Защитная	В ответ на проникновение в организм чужеродных белков или микроорганизмов (антигенов) образуются особые белки — антитела, способные связывать и обезвреживать их. Фибрин, образующийся из фибриногена, способствует остановке кровотечений.
Двигательная	Сократительные белки актин и миозин обеспечивают сокращение мышц у многоклеточных животных.
Сигнальная	В поверхностную мембрану клетки встроены молекулы белков, способных изменять свою третичную структуру в ответ на действие факторов внешней среды, таким образом осуществляя прием сигналов из внешней среды и передачу команд в клетку.
Запасающая	В организме животных белки, как правило, не запасаются, исключение: альбумин яиц, казеин молока. Но благодаря белкам в организме могут откладываться про запас некоторые вещества, например, при распаде гемоглобина железо не выводится из организма, а сохраняется, образуя комплекс с белком ферритином.
Энергетическая	При распаде 1 г белка до конечных продуктов выделяется 17,6 кДж. Сначала белки распадаются до аминокислот, а затем до конечных

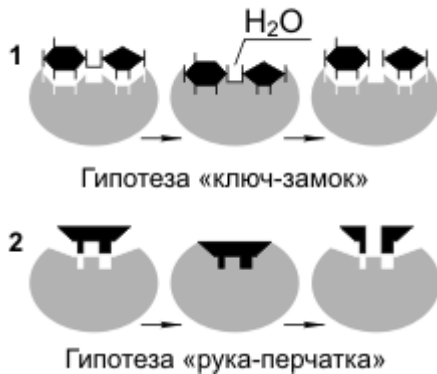
	продуктов — воды, углекислого газа и аммиака. Однако в качестве источника энергии белки используются только тогда, когда другие источники (углеводы и жиры) израсходованы.
Каталитическая	Одна из важнейших функций белков. Обеспечивается белками — ферментами, которые ускоряют биохимические реакции, происходящие в клетках. Например, рибулезобифосфаткарбоксилаза катализирует фиксацию CO ₂ при фотосинтезе.

Ферменты.

Ферменты, или **энзимы**, — особый класс белков, являющихся биологическими катализаторами. Благодаря ферментам биохимические реакции протекают с огромной скоростью. Скорость ферментативных реакций в десятки тысяч раз (а иногда и в миллионы) выше скорости реакций, идущих с участием неорганических катализаторов. Вещество, на которое оказывает свое действие фермент, называют **субстратом**.

Ферменты — глобулярные белки, по **особенностям строения** ферменты можно разделить на две группы: простые и сложные. **Простые ферменты** являются простыми белками, т.е. состоят только из аминокислот. **Сложные ферменты** являются сложными белками, т.е. в их состав помимо белковой части входит группа небелковой природы — **кофактор**. У некоторых ферментов в качестве кофакторов выступают витамины. В молекуле фермента выделяют особую часть, называемую активным центром. **Активный центр** — небольшой участок фермента (от трех до двенадцати аминокислотных остатков), где и происходит связывание субстрата или субстратов с образованием фермент-субстратного комплекса. По завершении реакции фермент-субстратный комплекс распадается на фермент и продукт (продукты) реакции. Некоторые ферменты имеют (кроме активного) **аллостерические центры** — участки, к которым присоединяются регуляторы скорости работы фермента (**аллостерические ферменты**).

Соответствие фермента и субстрата:



Для реакций ферментативного катализа характерны: 1) высокая эффективность, 2) строгая избирательность и направленность действия, 3) субстратная специфичность, 4) тонкая и точная регуляция. Субстратную и реакционную специфичность реакций ферментативного катализа объясняют гипотезы Э. Фишера (1890 г.) и Д. Кошланда (1959 г.).

Э. Фишер (гипотеза «ключ-замок») предположил, что пространственные конфигурации активного центра фермента и субстрата должны точно соответствовать друг другу. Субстрат сравнивается с «ключом», фермент — с «замком».

Д. Кошланд (гипотеза «рука-перчатка») предположил, что пространственное соответствие структуры субстрата и активного центра фермента создается лишь в момент их взаимодействия друг с другом. Эту гипотезу еще называют **гипотезой индуцированного соответствия**.

Скорость ферментативных реакций зависит от: 1) температуры, 2) концентрации фермента, 3) концентрации субстрата, 4) pH. Следует подчеркнуть, что поскольку ферменты являются белками, то их активность наиболее высока при физиологически нормальных условиях.

Большинство ферментов может работать только при температуре от 0 до 40 °C. В этих пределах скорость реакции повышается примерно в 2 раза при повышении температуры на каждые 10 °C. При температуре выше 40 °C белок подвергается денатурации и активность фермента падает. При температуре, близкой к точке замерзания, ферменты инактивируются.

При увеличении количества субстрата скорость ферментативной реакции растет до тех пор, пока количество молекул субстрата не станет равным количеству молекул фермента. При дальнейшем увеличении количества субстрата скорость увеличиваться не будет, так как происходит насыщение активных центров фермента. Увеличение концентрации фермента приводит к усилению каталитической активности, так как в единицу времени преобразованиям подвергается большее количество молекул субстрата.



Аллостерические фрагменты:

1 – аллостерический активатор;
2 – аллостерический ингибитор.

Для каждого фермента существует оптимальное значение pH, при котором он проявляет максимальную активность (пепсин — 2,0, амилаза слюны — 6,8, липаза поджелудочной железы — 9,0). При более высоких или низких значениях pH активность фермента снижается. При резких сдвигах pH фермент денатурирует.

Скорость работы аллостерических ферментов регулируется веществами, присоединяющимися к аллостерическим центрам. Если эти вещества ускоряют реакцию, они называются **активаторами**, если тормозят — **ингибиторами**.

Классификация ферментов

По типу катализируемых химических превращений ферменты разделены на 6 классов:

1. **оксиредуктазы** (перенос атомов водорода, кислорода или электронов от одного вещества к другому — дегидрогеназа),
2. **трансферазы** (перенос метильной, ацильной, фосфатной или аминокислотной группы от одного вещества к другому — трансаминаза),
3. **гидролазы** (реакции гидролиза, при которых из субстрата образуются два продукта — амилаза, липаза),
4. **лиазы** (негидролитическое присоединение к субстрату или отщепление от него группы атомов, при этом могут разрываться связи C–C, C–N, C–O, C–S — декарбоксилаза),
5. **изомеразы** (внутримолекулярная перестройка — изомераза),
6. **лигазы** (соединение двух молекул в результате образования связей C–C, C–N, C–O, C–S — синтетаза).

Классы в свою очередь подразделены на подклассы и подподклассы. В действующей международной классификации каждый фермент имеет определенный шифр, состоящий из четырех чисел, разделенных точками. Первое число — класс, второе — подкласс, третье — подподкласс, четвертое — порядковый номер фермента в данном подподклассе, например, шифр аргиназы — 3.5.3.1.

Лекция №8. Нуклеиновые кислоты.

К **нуклеиновым кислотам** относят высокополимерные соединения, распадающиеся при гидролизе на пуриновые и пиримидиновые основания, пентозу и фосфорную кислоту. Нуклеиновые кислоты содержат углерод, водород, фосфор, кислород и азот. Различают два класса нуклеиновых кислот: **рибонуклеиновые кислоты (РНК)** и **дезоксирибонуклеиновые кислоты (ДНК)**.

Строение и функции ДНК

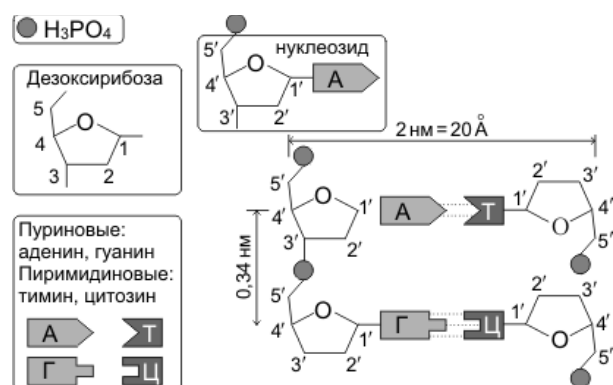
ДНК - полимер, мономерами которой являются дезоксирибонуклеотиды. Модель пространственного строения молекулы ДНК в виде двойной спирали была предложена в 1953 г. Дж. Уотсоном и Ф. Криком (для построения этой модели они использовали работы М. Уилкинса, Р. Франклин, Э. Чаргаффа).

Молекула ДНК образована двумя полинуклеотидными цепями, спирально закрученными друг около друга и вместе вокруг воображаемой оси, т.е. представляет собой двойную спираль (исключение — некоторые ДНК-содержащие вирусы имеют одноцепочечную ДНК). Диаметр двойной спирали ДНК — 2 нм, расстояние между соседними нуклеотидами — 0,34 нм, на один оборот спирали приходится 10 пар нуклеотидов. Длина молекулы может достигать нескольких сантиметров. Молекулярный вес — десятки и сотни миллионов. Суммарная длина ДНК ядра клетки человека — около 2 м. В эукариотических клетках ДНК образует комплексы с белками и имеет специфическую пространственную конформацию.

Мономер ДНК — нуклеотид (дезоксирибонуклеотид) — состоит из остатков трех веществ:

- 1) азотистого основания,
- 2) пятиуглеродного моносахарида (пентозы) и
- 3) фосфорной кислоты.

Азотистые основания нуклеиновых кислот относятся к классам пиримидинов и пуринов. **Пиримидиновые основания ДНК** (имеют в составе своей молекулы одно кольцо) — тимин, цитозин. **Пуриновые основания** (имеют два кольца) — аденин и гуанин.



Моносахарид нуклеотида ДНК представлен дезоксирибозой.

Название нуклеотида является производным от названия соответствующего основания. Нуклеотиды и азотистые основания обозначаются заглавными буквами.

Азотистое основание	Название нуклеотида	Обозначение
Аденин	Адениловый	A (A)
Гуанин	Гуаниловый	Г (G)
Тимин	Тимидиловый	T (T)
Цитозин	Цитидиловый	Ц (C)

Полинуклеотидная цепь образуется в результате реакций конденсации нуклеотидов. При этом между 3'-углеродом остатка дезоксирибозы одного нуклеотида и остатком фосфорной кислоты другого возникает **фосфоэфирная связь** (относится к категории прочных ковалентных связей). Один конец полинуклеотидной цепи заканчивается 5'-углеродом (его называют 5'-концом), другой — 3'-углеродом (3'-концом).

Против одной цепи нуклеотидов располагается вторая цепь. Расположение нуклеотидов в этих двух цепях не случайное, а строго определенное: против аденина одной цепи в другой цепи всегда располагается тимин, а против гуанина — всегда цитозин, между аденином и тимином возникают две водородные связи, между гуанином и цитозином — три водородные связи. Закономерность, согласно которой нуклеотиды разных цепей ДНК строго упорядоченно располагаются (аденин — тимин, гуанин — цитозин) и избирательно соединяются друг с другом, называется **принципом комплементарности**. Следует отметить, что Дж. Уотсон и Ф. Крик пришли к пониманию принципа комплементарности после ознакомления с работами Э. Чаргаффа. Э. Чаргафф, изучив огромное количество образцов тканей и органов различных организмов, установил, что в любом фрагменте ДНК содержание остатков гуанина всегда точно соответствует содержанию

цитозина, а аденина — тимину («правило Чаргаффа»), но объяснить этот факт он не смог.

Из принципа комплементарности следует, что последовательность нуклеотидов одной цепи определяет последовательность нуклеотидов другой.

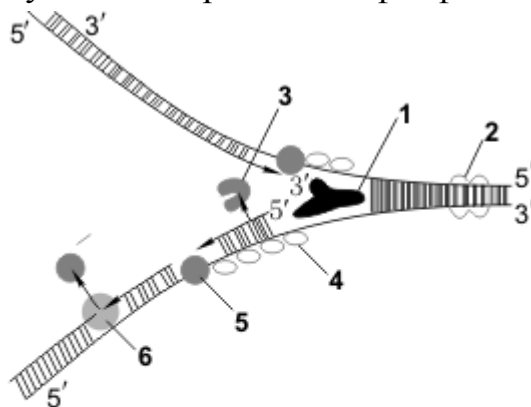
Цепи ДНК антипараллельны (разнонаправлены), т.е. нуклеотиды разных цепей располагаются в противоположных направлениях, и, следовательно, напротив 3'-конца одной цепи находится 5'-конец другой. Молекулу ДНК иногда сравнивают с винтовой лестницей. «Перила» этой лестницы — сахарофосфатный остов (чередующиеся остатки дезоксирибозы и фосфорной кислоты); «ступени» — комплементарные азотистые основания.

Функция ДНК — хранение и передача наследственной информации.

Репликация (редупликация) ДНК

Репликация ДНК — процесс самоудвоения, главное свойство молекулы ДНК. Репликация относится к категории реакций матричного синтеза, идет с участием ферментов. Под действием ферментов молекула ДНК раскручивается, и около каждой цепи, выступающей в роли матрицы, по принципам комплементарности и антипараллельности достраивается новая цепь. Таким образом, в каждой дочерней ДНК одна цепь является материнской, а вторая — вновь синтезированной. Такой способ синтеза называется **полуконсервативным**.

«Строительным материалом» и источником энергии для репликации являются **дезоксирибонуклеозидтрифосфаты** (АТФ, ТТФ, ГТФ, ЦТФ), содержащие три остатка фосфорной кислоты. При включении дезоксирибонуклеозидтрифосфатов в полинуклеотидную цепь два концевых остатка фосфорной кислоты отщепляются, и освободившаяся энергия используется на образование фосфодиэфирной связи между нуклеотидами.



Репликация ДНК:

1 – ДНК-геликаза; 2 – ДНК-топоизомераза; 3 – РНК-праймаза; 4 – дестабилизирующие белки; 5 – ДНК полимераз образует ДНК, удлиняет фрагменты Оказаки, удаляет рибонуклеотиды; ДНК-лигаза сшивает фрагменты Оказаки.

В репликации участвуют следующие ферменты:

1. геликазы («расплетают» ДНК);
2. дестабилизирующие белки;
3. ДНК-топоизомеразы (разрезают ДНК);
4. ДНК-полимеразы (подбирают дезоксирибонуклеозидтрифосфаты и комплементарно присоединяют их к матричной цепи ДНК);
5. РНК-праймазы (образуют РНК-затравки, праймеры);
6. ДНК-лигазы (сшивают фрагменты ДНК).

С помощью геликаз в определенных участках ДНК расплетается, одноцепочечные участки ДНК связываются дестабилизирующими белками, образуется **репликационная вилка**. При расхождении 10 пар нуклеотидов (один виток спирали) молекула ДНК должна совершить полный оборот вокруг своей оси. Чтобы предотвратить это вращение ДНК-топоизомераза разрезает одну цепь ДНК, что дает ей возможность вращаться вокруг второй цепи.

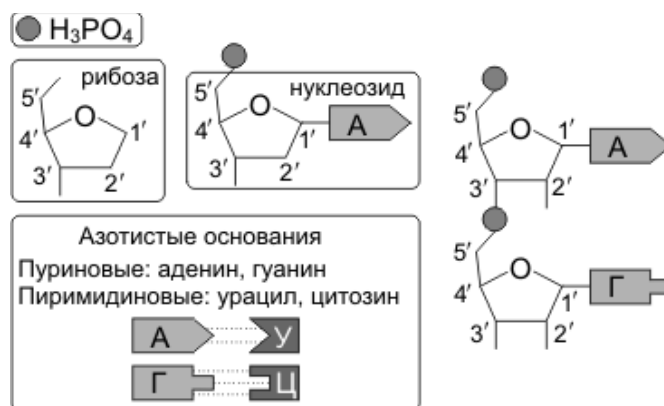
ДНК-полимераза может присоединять нуклеотид только к 3'-углероду дезоксирибозы предыдущего нуклеотида, поэтому данный фермент способен передвигаться по матричной ДНК только в одном направлении: от 3'-конца к 5'-концу этой матричной ДНК. Так как в материнской ДНК цепи антипараллельны, то на ее разных цепях сборка дочерних полинуклеотидных цепей происходит по-разному и в противоположных направлениях. На цепи 3'–5' синтез дочерней полинуклеотидной цепи идет без перерывов; эта дочерняя цепь будет называться **лидирующей**. На цепи 5'–3' — прерывисто, фрагментами (**фрагменты Оказаки**), которые после завершения репликации ДНК-лигазами сшиваются в одну цепь; эта дочерняя цепь будет называться **запаздывающей (отстающей)**.

Особенностью ДНК-полимеразы является то, что она может начинать свою работу только с «**затравки**» (**праймера**). Роль «затравок» выполняют короткие последовательности РНК, образуемые при участии фермента РНК-праймазы и спаренные с матричной ДНК. РНК-затравки после окончания сборки полинуклеотидных цепочек удаляются.

Репликация протекает сходно у прокариот и эукариот. Скорость синтеза ДНК у прокариот на порядок выше (1000 нуклеотидов в секунду), чем у эукариот (100 нуклеотидов в секунду). Репликация начинается одновременно в нескольких участках молекулы ДНК. Фрагмент ДНК от одной точки начала репликации до другой образует единицу репликации — **репликон**.

Репликация происходит перед делением клетки. Благодаря этой способности ДНК осуществляется передача наследственной информации от материнской клетки дочерним.

Строение и функции РНК



РНК — полимер, мономерами которой являются **рибонуклеотиды**. В отличие от ДНК, РНК образована не двумя, а одной полинуклеотидной цепочкой (исключение — некоторые РНК-содержащие вирусы имеют двухцепочечную РНК). Нуклеотиды РНК способны образовывать водородные связи между собой. Цепи РНК значительно короче цепей ДНК.

Мономер РНК — нуклеотид (рибонуклеотид) — состоит из остатков трех веществ: 1) азотистого основания, 2) пятиуглеродного моносахарида (пентозы) и 3) фосфорной кислоты. Азотистые основания РНК также относятся к классам пиримидинов и пуринов.

Пиримидиновые основания РНК — урацил, цитозин, пуриновые основания — аденин и гуанин. Моносахарид нуклеотида РНК представлен рибозой.

Выделяют **три вида РНК**: 1) **информационная** (матричная) РНК — иРНК (мРНК), 2) **транспортная** РНК — тРНК, 3) **рибосомная** РНК — рРНК.

Все виды РНК представляют собой неразветвленные полинуклеотиды, имеют специфическую пространственную конформацию и принимают участие в процессах синтеза белка. Информация о строении всех видов РНК хранится в ДНК. Процесс синтеза РНК на матрице ДНК называется транскрипцией.

Информационные РНК разнообразны по содержанию нуклеотидов и молекулярной массе (от 50 000 до 4 000 000). На долю и-РНК приходится до 5% от общего содержания РНК в клетке.

Функции и-РНК:

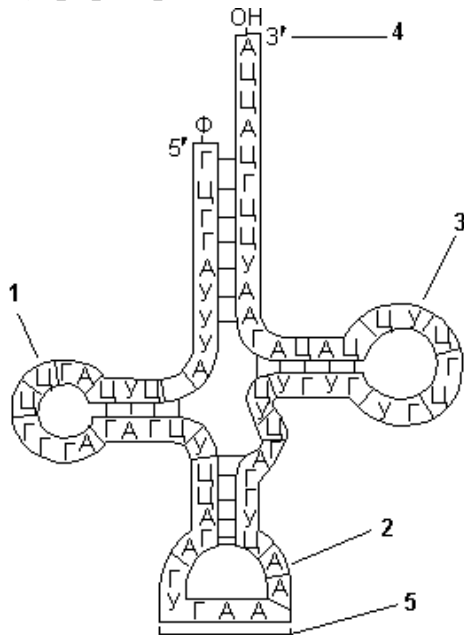
- 1) перенос генетической информации от ДНК к рибосомам,
- 2) матрица для синтеза молекулы белка,
- 3) определение аминокислотной последовательности первичной структуры белковой молекулы.

Рибосомные РНК содержат 3000–5000 нуклеотидов; молекулярная масса — 1 000 000–1 500 000. На долю р-РНК приходится 80–85% от общего содержания РНК в клетке. В комплексе с рибосомными белками рРНК

образует рибосомы — органоиды, осуществляющие синтез белка. В эукариотических клетках. Синтез р-РНК происходит в ядрышках.

Функции рРНК:

- 1) необходимый структурный компонент рибосом и, таким образом, обеспечение функционирования рибосом;
- 2) обеспечение взаимодействия рибосомы и т-РНК;
- 3) первоначальное связывание рибосомы и кодона-инициатора и-РНК и определение рамки считывания,
- 4) формирование активного центра рибосомы.



Транспортная РНК:

1 — петля 1; 2 — петля 2; 3 — петля 3;
4 — акцепторный конец; 5 — антикодон.

Транспортные РНК содержат обычно 76 (от 75 до 95) нуклеотидов; молекулярная масса — 25 000–30 000. На долю т-РНК приходится около 10% от общего содержания РНК в клетке.

Функции тРНК:

- 1) транспорт аминокислот к месту синтеза белка, к рибосомам,
- 2) трансляционный посредник.

В клетке встречается около 40 видов т-РНК, каждый из них имеет характерную только для него последовательность нуклеотидов. Однако у всех т-РНК имеется несколько внутримолекулярных комплементарных участков, из-за которых т-РНК приобретают конформацию, напоминающую по форме лист клевера. У любой т-РНК есть петля для контакта с рибосомой (1), антикодоновая петля (2), петля для контакта с ферментом (3), акцепторный стебель (4), антикодон (5). Аминокислота присоединяется к 3'-концу акцепторного стебля. **Антикодон** — три нуклеотида, «опознающие» кодон и-

РНК. Следует подчеркнуть, что конкретная т-РНК может транспортировать строго определенную аминокислоту, соответствующую ее антикодону. Специфичность соединения аминокислоты и т-РНК достигается благодаря свойствам фермента аминоацил-т-РНК-синтетаза.

Строение и функции АТФ

Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) — универсальный источник и основной аккумулятор энергии в живых клетках. АТФ содержится во всех клетках растений и животных. Количество АТФ в среднем составляет 0,04% (от сырой массы клетки), наибольшее количество АТФ (0,2–0,5%) содержится в скелетных мышцах.

АТФ состоит из остатков:

- 1) азотистого основания (аденина),
- 2) моносахарида (рибозы),
- 3) трех фосфорных кислот. Поскольку АТФ содержит не один, а три остатка фосфорной кислоты, она относится к рибонуклеозидтрифосфатам.

Для большинства видов работ, происходящих в клетках, используется энергия гидролиза АТФ. При этом при отщеплении концевого остатка фосфорной кислоты АТФ переходит в АДФ (аденозиндифосфорную кислоту), при отщеплении второго остатка фосфорной кислоты — в АМФ (аденозинмонофосфорную кислоту). Выход свободной энергии при отщеплении как концевого, так и второго остатков фосфорной кислоты составляет по 30,6 кДж. Отщепление третьей фосфатной группы сопровождается выделением только 13,8 кДж. Связи между концевым и вторым, вторым и первым остатками фосфорной кислоты называются макроэргическими (высокоэнергетическими).

Запасы АТФ постоянно пополняются. В клетках всех организмов синтез АТФ происходит в процессе фосфорилирования, т.е. присоединения фосфорной кислоты к АДФ. Фосфорилирование происходит с разной интенсивностью при дыхании (митохондрии), гликолизе (цитоплазма), фотосинтезе (хлоропласты).

АТФ является основным связующим звеном между процессами, сопровождающимися выделением и накоплением энергии, и процессами, протекающими с затратами энергии.