

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

Кафедра медицинской биологии и генетики

БИОЛОГИЯ

Учебно-методическое пособие
для слушателей подготовительного отделения
медицинских вузов

Гомель
ГомГМУ
2017

УДК 57 (072)

ББК 28.7 я73

Б 63

Авторы:

*В. В. Потенко, С. Н. Боброва, А. С. Иванов, И. В. Кондрашова,
В. В. Концевая, С. В. Овсепян, И. В. Фадеева, Н. Е. Фомченко*

Рецензенты:

кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологии
Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины

А. Н. Кусенков;

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
лаборатории радиоэкологии Института радиобиологии НАН Беларуси

А. А. Дворник

Биология: учеб.-метод. пособие для слушателей подготовительного
Б 63 отделения медицинских вузов / В. В. Потенко [и др.]. — Гомель:
ГомГМУ, 2017. — 200 с.

ISBN 978-985-506-916-5

В учебно-методическом пособии представлен учебный материал по биологии, который подготовлен в соответствии с учебной программой по дисциплине «Биология» для подготовительного отделения УО «Гомельский государственный медицинский университет» (Гомель 2016).

Предназначено для слушателей подготовительного отделения медицинских вузов.

Утверждено и рекомендовано к изданию научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет» 29 июня 2016 г., протокол № 3.

УДК 57 (072)

ББК 28.7 я73

ISBN 978-985-506-916-5

© Учреждение образования
«Гомельский государственный
медицинский университет», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Тема 1. Биология как наука о жизни	5
Тема 2. Химические компоненты живых организмов	8
Тема 3. Органические вещества. Белки	14
Тема 4. Органические вещества. Углеводы и липиды	20
Тема 5. Органические вещества. Нуклеиновые кислоты	26
Тема 6. Клетка — структурная и функциональная единица живых организмов	32
Тема 7. Цитоплазматическая мембрана. Транспорт веществ	35
Тема 8. Цитоплазма и ее строение	39
Тема 9. Органоиды клетки	42
Тема 10. Ядро, строение и функции	50
Тема 11. Особенности строения клеток живых организмов	53
Тема 12. Деление клеток. Интерфаза. Митоз. Амитоз	55
Тема 13. Деление клеток. Мейоз	62
Тема 14. Обмен веществ и превращение энергии в организме	62
Тема 15. Хранение наследственной информации.	
Генетический код и его свойства	69
Тема 16. Реализация наследственной информации.	
Биосинтез белка	71
Тема 17. Размножение организмов.	
Бесполое размножение и его формы	77
Тема 18. Половое размножение. Половой процесс	79
Тема 19. Закономерности наследования признаков	90
Тема 20. Взаимодействие аллельных генов	94
Тема 21. Взаимодействие неаллельных генов	95
Тема 22. Хромосомная теория наследственности.	
Сцепленное наследование	98
Тема 23. Генетика пола. Сцепленное с полом наследование	102
Тема 24. Изменчивость, ее типы и виды	104
Тема 25. Методы генетики человека 109	
Тема 26. Наследственные болезни человека	111
Тема 27. Многообразие органического мира. Вирусы.	
Прокариоты. Протисты	115
Тема 28. Паразитические одноклеточные организмы	123
Тема 29. Царство Животные. Тип Плоские черви	125
Тема 30. Тип Круглые черви	128
Тема 31. Общая характеристика типа Членистоногие.	
Класс Ракообразные	130
Тема 32. Класс Паукообразные	133
Тема 33. Класс Насекомые	136

Тема 34. Общая характеристика типа Хордовые.	
Класс Ланцетники	139
Тема 35. Общая характеристика надкласса Рыбы	141
Тема 36. Класс Земноводные Биосинтез белка	144
Тема 37. Класс Пресмыкающиеся	147
Тема 38. Класс Млекопитающие	150
Тема 39. Общий обзор организма человека	153
Тема 40. Общие принципы организации нервной системы	157
Тема 41. Опорно-двигательная система	164
Тема 42. Строение и функции мышц	169
Тема 43. Внутренняя среда организма	171
Тема 44. Сердечно-сосудистая система	175
Тема 45. Дыхательная система	181
Тема 46. Строение и функции пищеварительной системы	183
Тема 47. Выделительная система	190
Тема 48. Покровная система	193
Тема 49. Зрительная сенсорная система	194
Тема 50. Слуховая сенсорная система	196
Тема 51. Репродуктивная система	197
Литература	199

Тема 1. Биология как наука о жизни

Биология — наука о жизни, которая изучает жизнь как особую форму движения материи, законы ее существования и развития. Предметом биологии являются живые организмы, их строение, функции, а также природные сообщества организмов. Термин «биология» впервые был предложен Ж. Б. Ламарком в 1802 г., и происходит от двух греческих слов: *bios* — жизнь, *logos* — наука. Вместе с астрономией, физикой, химией, геологией и др. науками, изучающими природу, биология относится к числу естественных наук.

Биология является совокупностью по меньшей мере 50 дисциплин:

а) морфологических (анатомия, гистология), описывающих строение организмов;

б) физиологических (физиология клетки, животных, растений);

в) общебиологических (цитология, генетика, эволюционное учение и т. д.);

г) экологических (биогеография, паразитология);

д) пограничных (биохимия, биофизика, антропология).

Биология как наука накопила огромный фактический материал. Познавание сущности жизни — одна из основных задач современной биологии.

Биология во второй половине 20 в. стала ведущей наукой. Она становится лидером естествознания, определяет основные направления его развития в сельском хозяйстве, медицине, экологии, генетике.

Ф. Энгельс в 1895 г. охарактеризовал жизнь как одну из форм движения материи, а именно, как биологическую, более высокую, чем механическая, физическая, химическая. Он высказал мысль, что развитие живого из неживого является естественной закономерностью, а поскольку уровень развития науки конца XIX — начала XX в. позволял полагать, что основным субстратом жизни является белок, то Энгельс дал живому следующее определение: «Жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, причем с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь». Однако в свете современных представлений под субстратом жизни понимают комплекс веществ, принадлежащих к двум классам биополимеров — белкам и нуклеиновым кислотам. В связи с этим предпринимались и предпринимаются попытки по-иному определить понятие «жизнь». Из наиболее удачных, с учетом вышесказанного, можно назвать определение, данное Дж. Берналом: «Жизнь — это функция взаимодействия белков и нуклеиновых кислот на Земле». По современным представлениям, *жизнь — это способ существования открытых коллоидных систем, обладающих свойствами саморегуляции, воспроизведения и развития на основе биохимического взаимодействия белков, нуклеиновых кислот и других соединений вследствие преобразования поступивших из внешней среды веществ и энергии.*

Общие признаки живых организмов и уровни организации живого

Несмотря на огромное разнообразие живых организмов, все они имеют ряд общих признаков, по которым их можно отличить от неживой природы. Такими признаками живого являются следующие:

Единство химического состава — сходство всех живых организмов по содержанию химических элементов. Качественно в состав живых организмов входят те же химические элементы, из которых построены объекты неживой природы. Однако количественное соотношение элементов в живом и неживом неодинаково. В живых организмах наибольшую их долю составляют основные, или биогенные элементы — кислород, углерод, водород и азот.

Клеточное строение — все живые организмы состоят из клеток (исключение — вирусы и фаги, но и они не проявляют признаков жизни вне клетки хозяина).

Обмен веществ и энергии — извлечение, преобразование и использование организмами веществ и энергии из окружающей среды и возвращение в нее продуктов распада и преобразованной энергии, например, в виде тепла.

Саморегуляция — способность организмов восстанавливать постоянство своего химического состава и интенсивность обменных процессов (гомеостаз) после каких-либо воздействий. Недостаток поступления каких-либо питательных веществ мобилизует внутренние ресурсы организма, а избыток вызывает прекращение синтеза этих веществ.

Подвижность — способность перемещаться из одного места в другое, т. е. способность к движению. В основном характерна для животных. Для растений подвижность необязательна, но и у них можно наблюдать движение органоидов внутри клеток, движение сперматозоидов у споровых растений и даже движение целых органов (повороты листьев вслед за солнцем, открывание и закрывание цветков). Могут двигаться также некоторые бактерии и протисты.

Раздражимость — способность организмов отвечать на внешние воздействия (раздражители) специфическими реакциями. Раздражителем является любое изменение в окружающей среде. При неоднократном воздействии сходных раздражителей определенный способ реагирования на них может накапливаться в виде опыта, закрепляться и использоваться в дальнейшем.

Размножение — способность живых организмов воспроизводить себе подобных. Благодаря этому свойству, виды могут существовать неопределенно долго, несмотря на ограниченную продолжительность жизни отдельных организмов.

Наследственность — свойство живых организмов сохранять и передавать в ряду поколений характерные для вида особенности строения, функционирования и развития.

Изменчивость — способность организмов приобретать новые и терять старые признаки и свойства.

Рост и развитие — количественные (увеличение количества клеток, массы) и качественные (дифференцировка клеток, образование тканей и органов, старение) изменения в течение жизни организма.

Адаптация к условиям существования — совокупность особенностей биологического вида, обеспечивающая возможность специфического образа жизни особей в определенных условиях внешней среды.

В связи с большим разнообразием проявлений жизни на Земле и для удобства их изучения выделяют следующие уровни организации живого:

1. **Молекулярно-генетический.** Элементарной структурой этого уровня является генетический код, передаваемый от поколения к поколению, а элементарным явлением — воспроизведение кодонов по принципу матрицы.

2. **Клеточный.** Элементарной структурой этого уровня является клетка, а элементарным явлением — деление клеток, их развитие, биосинтез белка в процессе реализации наследственной информации.

3. **Онтогенетический.** Элементарная структура этого уровня — организм, а элементарное явление — закономерности онтогенеза.

3. **Популяционно-видовой.** Здесь элементарными структурами являются популяции любого вида живых организмов, а элементарное явление — направленное изменение их генетического состава (генофонда). Последнее ведет к возникновению приспособлений и, в итоге, к видообразованию на основе естественного отбора.

4. **Биосферно-биогеоценологический.** Элементарными структурами этого уровня являются биогеоценозы, а элементарными явлениями смена биогеоценозов — переходы из одного состояния, временного, неустойчивого равновесия в другое. Принципиальная неделимость биосферы обуславливает необходимость решения многих проблем охраны природы и использования ее ресурсов.

Формы жизни. Структурная организация живых организмов

Известны неклеточные и клеточные формы жизни.

К неклеточным формам жизни относят вирусы и бактериофаги (вирусы, паразитирующие на бактериях).

Клеточные формы жизни — прокариоты и эукариоты. Прокариоты — организмы, клетки которых не имеют оформленного ядра. К прокариотам относятся бактерии и некоторые другие организмы. Эукариоты — организмы, клетки которых содержат оформленное ядро, окруженное ядерной оболочкой. К эукариотам относятся как одноклеточные (протисты), так и многоклеточные (грибы, растения и животные) организмы.

Основные формы структурной организации живых организмов:

в виде одноклеточного организма (примеры: бактерии, протисты);

сифоновая организация: организм представляет собой гигантскую многоядерную клетку, расчлененную на листовидную и корневидную части (*примеры:* сифоновые водоросли и некоторые грибы);

сифонокладная организация: организм в виде гигантской многоядерной клетки разделен поперечными перегородками на многоядерные участки (*примеры:* водоросль кладофора);

колониальная форма: колония — это объединение клеток, возникших путем клеточного деления, при этом соседние клетки соединены между собой цитоплазматическими мостиками, вследствие чего они (клетки) могут координировать свои реакции (*пример:* вольвокс); в колонии возможно разделение функций между клетками;

многоклеточная форма: тело таких организмов состоит из огромного количества клеток, дифференцированных по строению и выполняемым функциям (*примеры:* высшие растения, большинство животных, человек) или имеющих талломную организацию (*примеры:* большинство водорослей, некоторые примитивные моховидные).

Тема 2. Химические компоненты живых организмов

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 0,01 %), 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 0,01 %, 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 неоргани-

ческие 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
<i>Макроэлементы</i>			
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
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

Продолжение таблицы 1

Элемент	Символ	Содержание, %	Роль в клетке
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 биологического 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
<i>Микроэлементы</i>			
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

Окончание таблицы 1

Элемент	Символ	Содержание, %	Роль в клетке
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 В 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 В 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

№	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)
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

Окончание таблицы 2

№	Свойства	Значение
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, т. е. 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 ($\text{pH} \approx 7,4$) вне клеточной среды (плазма крови, HCO_3^-) и слабокислую ($\text{pH} \approx 6,9$) внутриклеточной среды (анионы фосфорной кислоты). От наличия солей зависят осмотические свойства клетки. Нерастворимые соли (карбонат и фосфат кальция) входят в состав зубов, костей, раковин.

Тема 3. Органические вещества. Белки

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.

Мономеры (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. Пространственная 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 (рисунок 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 (рисунок 1).

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 1, Б).

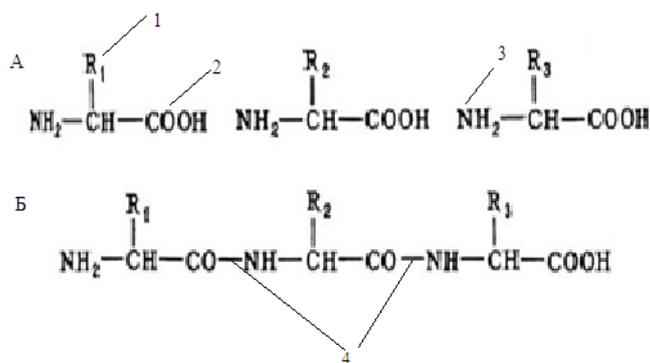


Рисунок 1 — Схема образования пептидных связей:

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

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).

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 белкообразующие 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 белкообразующих 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.

Выделяют четыре уровня пространственной организации белков (рисунок 2):

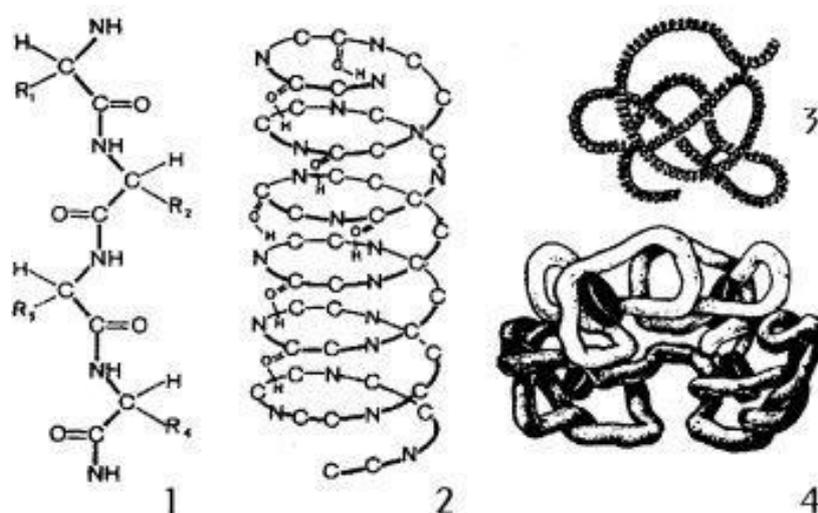


Рисунок 2 — Уровни организации белковой молекулы:

1 — первичная структура; 2 — вторичная структура; 3 — третичная структура;
4 — четвертичная структура

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 О 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.

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

По форме молекул белки можно разделить на две 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 мембран, 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, уксусом, 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, фиксацию 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.

Тема 4. Органические вещества. Углеводы и липиды

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 название — углеводы. Состав углеводов можно выразить формулой $(\text{C}_n\text{H}_m\text{O}_n)_p$, 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 три класса углеводов: 1) моносахариды, или простые сахара; 2) олигосахариды; 3) полисахариды (рисунок 3).

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.

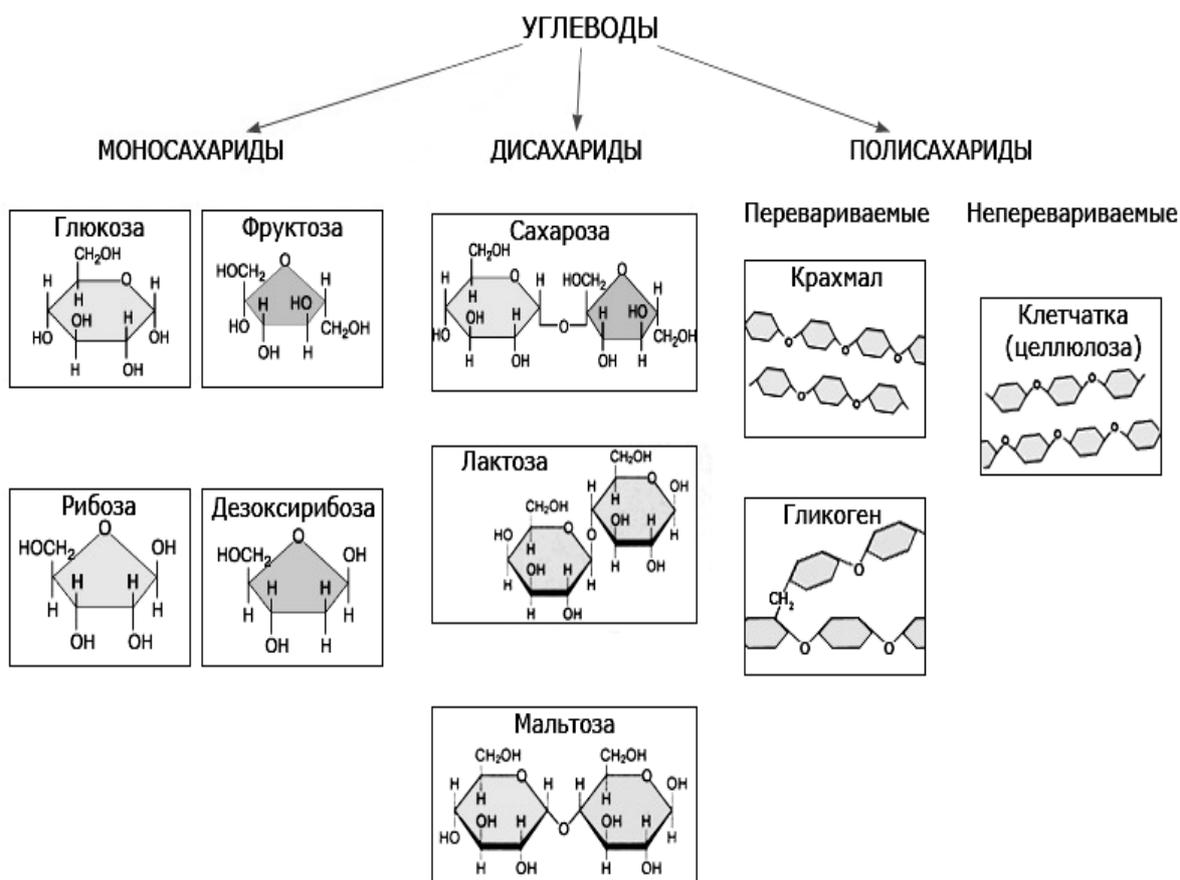


Рисунок 3 — Различные классы углеводов

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-м и 4-м углеродными атомами соседних моносахаридов. Если в одной молекуле объединяются два моносахарида, такое соединение называют *дисахаридом*.

К олигосахаридам относится дисахарид мальтоза (солодовый сахар), ко-

торый 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 моле-

кул 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).

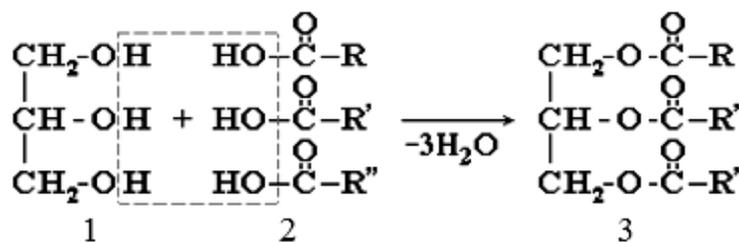


Рисунок 4 — Образование молекулы жира из глицерина и трех карбоновых кислот:

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 (например: бараний и говяжий жиры). 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) соеди-

нения. 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. Образованный пчелами воск используется в строительстве сот.

Восковой слой покрывает листья некоторых 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 воды выделяется 38,9 кДж энергии. Это дает возможность животным, впадающим в спячку, поддерживать процессы жизнедеятельности в зимний период. 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 ходь-

бе 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.

Тема 5. Органические вещества. 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 биохимиком И. Ф. Мишером в ядрах лейкоцитов человека и сперматозоидов лосося.

Впоследствии нуклеиновые кислоты были обнаружены во всех клетках растений, животных, грибов, протистов, бактерий и даже в вирусах. Причем выяснилось, что молекулы нуклеиновых кислот содержатся не только в ядре, но и в цитоплазме клеток, в составе некоторых органоидов (митохондрий, пластид).

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.

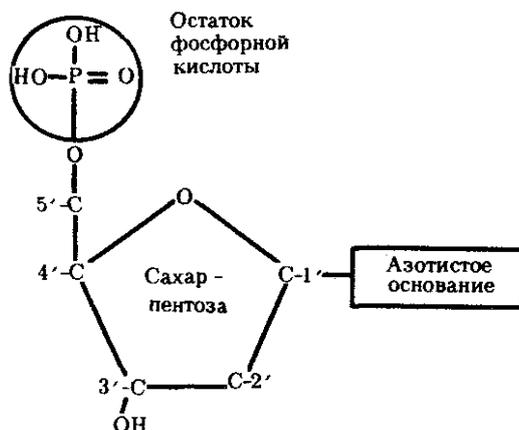


Рисунок 5 — Схема строения нуклеотида

Нумерация атомов углерода дезоксирибозы осуществляется по часо-

вой стрелке. К первому атому углерода (С-1') пентозы присоединяется азотистое основание, а к пятому (С-5') — остаток фосфорной кислоты.

Нуклеотиды одной цепи ДНК соединяются путем 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).

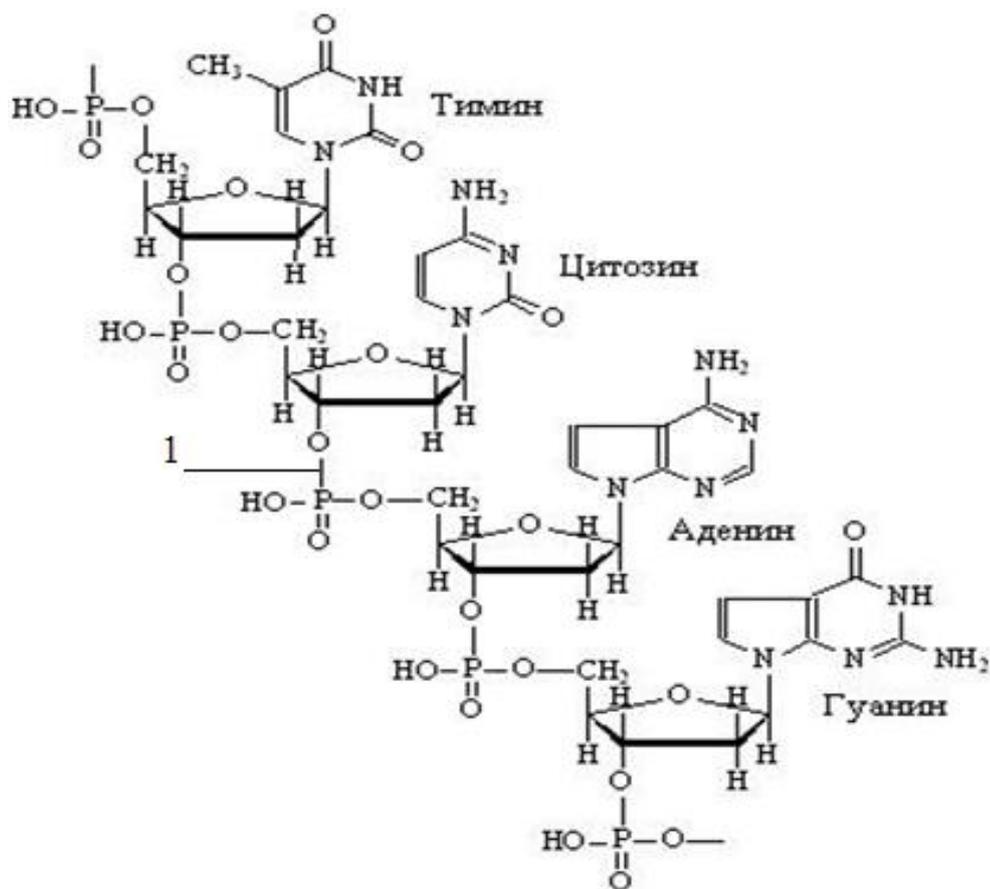


Рисунок 6 — Фрагмент цепи ДНК: 1 — фосфодиэфирные мостики

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).

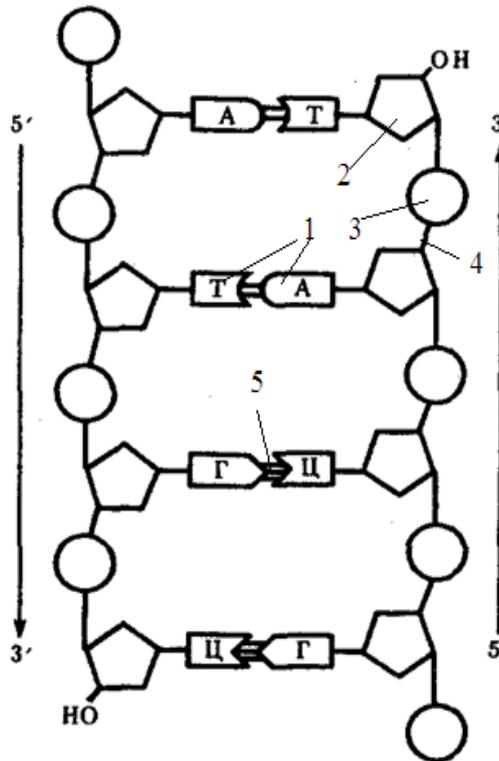


Рисунок 7 — Схема строения двуцепочечной молекулы ДНК:

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

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.

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 ($A+Ц = Г+Т$);

5) отношение оснований $A+Г / Г+Ц$ 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).

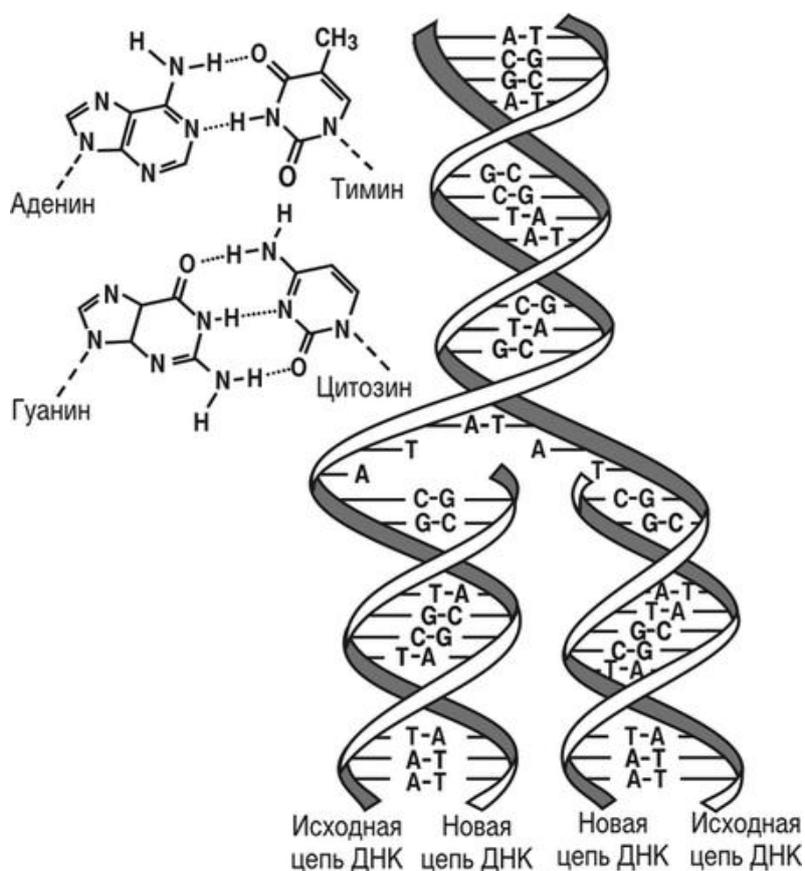


Рисунок 8 — Схема репликации молекулы ДНК

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 освобожденным 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*.

Особенностью ДНК-полимеразы является то, что она присоединяет нуклеотиды новой цепи только в направлении $5' \rightarrow 3'$. Поскольку цепи ДНК антипараллельны, то ДНК-полимераза может непрерывно строить лишь одну новую цепь молекулы ДНК с направлением $5' \rightarrow 3'$. Другая дочерняя цепь ($3' \rightarrow 5'$) синтезируется отдельными короткими участками (фрагментами Оказаки). При этом вторая дочерняя цепь ДНК строится также в направлении $5' \rightarrow 3'$, что не противоречит направлению движения ДНК-полимеразы. Затем короткие участки новосинтезируемой цепочки связываются воедино ферментом ДНК-лигазой.

Водородные связи, возникающие между азотистыми основаниями, соединяют старую и новую цепь так, что получается новая молекула. Новые молекулы на 50 % будут состоять из нового материала.

РНК также является сложным органическим соединением-полимером, мономером которого является нуклеотид. Строение РНК во многом сходно со строением ДНК. Тем не менее, имеется ряд отличий. В состав нуклеотидов РНК вместо дезоксирибозы входит рибоза. Основание тимин (Т) замещено на урацил (У). Главное отличие состоит в том, что РНК имеет лишь одну цепь. Цепи РНК значительно короче цепей ДНК. В клетках существуют три типа РНК: информационная (иРНК), транспортная (тРНК) и рибосомальная (рРНК).

иРНК состоит из 300–30000 нуклеотидов и составляет примерно 5 % от всей РНК, содержащейся в клетке. Она представляет собой копию определенного участка ДНК (гена). Молекулы иРНК выполняют роль переносчиков генетической информации от ДНК к месту синтеза белка (к рибосомам) и непосредственно участвуют в сборке его молекул, являясь матрицей для синтеза. Другое название иРНК — матричная (мРНК).

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.

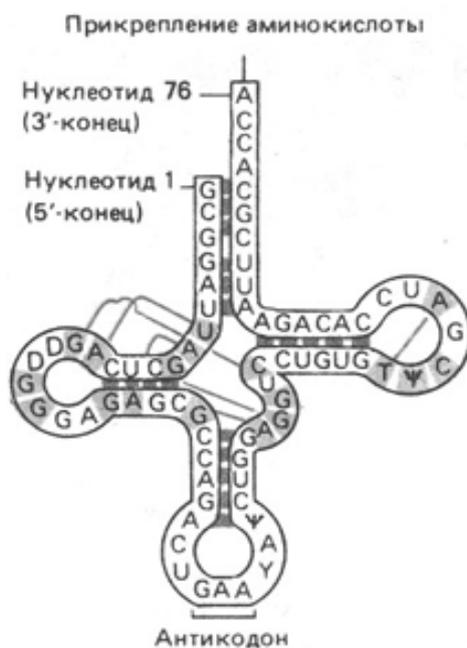


Рисунок 9 — Схема организации т-РНК

Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) содержится в митохондриях, хлоропластах, ядре. Она обеспечивает клетку энергией, т. е. 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 (40 кДж) (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.

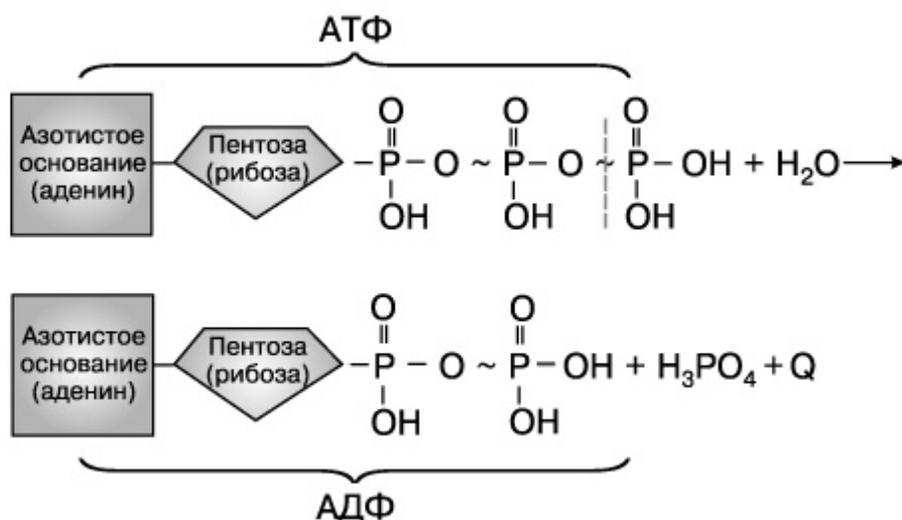


Рисунок 10 — Схема строения молекулы АТФ

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.

Тема 6. Клетка — структурная и функциональная единица живых организмов

Открытие клетки связано с именами великих ученых-микроскопистов — Р. Гука, М. Мальпиги, Н. Грю, описавших во второй половине XVII в. ячеистое строение многих растительных объектов. Значительный вклад в изучение клетки внес голландский микроскопист А. Левенгук, открывший в 1674 г. одноклеточные организмы — инфузории, амёбы, бактерии. Он также впервые наблюдал клетки высших животных — эритроциты крови и сперматозоиды.

Дальнейшее усовершенствование микроскопа и интенсивные микроскопические исследования привели к установлению французским ученым Ш. Бриссо-Мирбе (1802, 1808) того факта, что все растительные организмы образованы тканями, которые состоят из клеток. Французский ученый Ж. Б. Ламарк (1809) распространил идею Бриссо-Мирбе о клеточном строении и на животные организмы. В начале XIX в. предпринимаются попытки изучения внутреннего содержимого клетки. В 1825 г. чешский

ученый Я. Пуркине открыл ядро в яйцеклетке птиц. В 1831 г. английский ботаник Р. Броун впервые описал ядро в клетках растений, а в 1833 г. он пришел к выводу, что ядро является обязательной частью растительной клетки. Таким образом, в это время меняется представление о строении клеток: главным в организации клетки стали считать не клеточную стенку, а ее содержимое. В 1838 г. немецкий ботаник М. Шлейден опубликовал работу, в которой высказал идею о том, что клетка является основной структурной единицей растений.

В 1839 г. немецкий зоолог Т. Шванн опубликовал труд «Микроскопические исследования о соответствии в структуре и росте животных и растений», в котором были заложены основы клеточной теории. В этой работе Т. Шванн пришел к двум выводам:

1) клетка — главная структурная единица всех растительных и животных организмов;

2) процесс образования клеток обуславливает рост, развитие и дифференцировку всех растительных и животных тканей и организмов.

Дальнейшее развитие клеточной теории связано с именем немецкого ученого Рудольфа Вирхова, который в 1858 г. опубликовал свой труд «Целлюлярная патология». В этой работе Р. Вирхов дополнил клеточную теорию третьим выводом: каждая клетка из клетки («*Omnis cellula e cellula*»). Этот вывод блестяще подтвердился дальнейшим развитием биологии. В настоящее время не известно иных способов появления клеток помимо их деления.

Однако ряд выводов Р. Вирхова оказались ошибочными и закономерно встретили возражения со стороны современников. По Р. Вирхову, патологический процесс в организме представляет собой сумму нарушений жизнедеятельности отдельных клеток, это локальный процесс. Р. Вирхов и его последователи не видели также качественных отличий между частью и целым, рассматривая организм вне его исторического развития и условий существования. Эту идею Р. Вирхова обоснованно критиковали И. М. Сеченов, С. П. Боткин, И. П. Павлов, которые показали, что организм — единое целое и интеграция его частей осуществляется прежде всего ЦНС.

Благодаря исследованиям Т. Шванна, М. Шлейдена, Р. Вирхова, Т. Моргана, С.Г. Навашина, Н.К. Кольцова, Д.Н. Насонова и др., клетку рассматривают как наименьшую элементарную единицу живого, которой свойственны такие признаки, как метаболизм, воспроизведение, реактивность и изменчивость.

Современная клеточная теория включает следующие положения:

1. Клетка — основная структурно-функциональная и генетическая единица живого.

2. Клетки одно- и многоклеточных организмов сходны по строению, химическому составу и проявлению жизнедеятельности.

3. Размножение клеток осуществляется путем деления исходной (материнской) клетки.

4. Клетки многоклеточных организмов специализируются по функциям и образуют ткани и органы.

5. Единое целое организма и интеграция его частей осуществляется, прежде всего, ЦНС.

6. В основе непрерывности, единства и разнообразия органического мира лежат обмен веществ, размножение, наследственность, изменчивость и раздражимость клеток.

Методы изучения клетки

Раздел биологии, занимающийся изучением структурной и функциональной организации клетки как единицы живого, получил название цитологии (от греч. *cytos* — клетка, полость, *logos* — наука). В задачи цитологии входит изучение строения, химического состава и функционирования клеток и их компонентов, познание процессов воспроизведения клеток, приспособления к условиям окружающей среды и др. Для решения этих задач в цитологии используются различные методы.

Основным методом исследования клеток является *световая микроскопия*. С помощью световых микроскопов, в которых используется солнечный или искусственный свет, была открыта клетка и некоторые ее структуры (пластиды, оболочка, вакуоли).

Ультратонкое строение клеточных структур изучают с помощью *метода электронной микроскопии*. В электронном микроскопе видны биологические мембраны (толщина 6–10 нм), рибосомы (диаметр около 20 нм) и другие структуры.

Для изучения химического состава, выяснения локализации отдельных химических веществ в клетке широко используются *методы цито- и гистохимии*, основанные на избирательном действии реактивов и красителей на определенные химические вещества цитоплазмы. *Метод дифференциального (разделительного) центрифугирования* позволяет детально исследовать химический состав органелл клетки после их разделения с помощью центрифуги. *Метод рентгеноструктурного анализа* дает возможность определять пространственное расположение и физические свойства атомов и группировок атомов, например, в молекулах ДНК, белков, входящих в состав клеточных структур.

Многие процессы жизнедеятельности клеток, в частности деление клетки, фиксируют с помощью *кино- и фотосъемки*.

Для изучения клеток разных органов и тканей растений и животных, процессов деления клеток, их дифференцировки и специализации используют *метод клеточных культур* — выращивание отдельных клеток многоклеточных организмов на питательных средах в стерильных условиях.

При исследовании живых клеток, выяснении функций отдельных органелл используют *метод микрохирургии*, т. е. оперативное воздействие на

клетку: удаление или имплантирование отдельных органелл, пересаживание их из клетки в клетку, микроинъекции различных веществ и т. д.

Многообразие клеток

Клетки разных организмов отличаются друг от друга размерами, формой, выполняемыми функциями.

Самыми мелкими являются бактериальные клетки, диаметр которых составляет в среднем 0,2 мкм. Большинство растительных и животных клеток имеет величину от 10 до 100 мкм, некоторые — от 1 до 10 мм. Более крупные клетки встречаются редко. Примером их могут служить яйцеклетки страусов, гусей, пингвинов, имеющие длину 10–20 см, или нервные клетки, отростки которых достигают 1 м и более.

По форме различают округлые, овальные, многогранные, звездчатые, дисковидные и другие клетки. Несмотря на многообразие форм, все клетки эукариот имеют сходный химический состав и единый принцип организации. Они состоят из *цитоплазмы и ядра*, которые вместе представляют собой живое содержимое клетки — протопласт. С внешней стороны цитоплазма ограничена *плазматической мембраной, или плазмалеммой*, а у растительных и грибных клеток — еще и жесткой *клеточной оболочкой, или клеточной стенкой*.

Тема 7. Цитоплазматическая мембрана. Транспорт веществ

С. Сингер и Г. Николсон в 1972 г. предложили *жидкостно-мозаичную модель* строения цитоплазматической мембраны (плазмалеммы).

Плазмалемма представляет собой тонкую пленку, которая состоит из 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) хвостики — внутрь (рисунок 11). Липиды и белки плазмалеммы могут перемещаться, меняя свое положение. Молекулы липидов и белков удерживаются с помощью гидрофильно-гидрофобных взаимодействий.

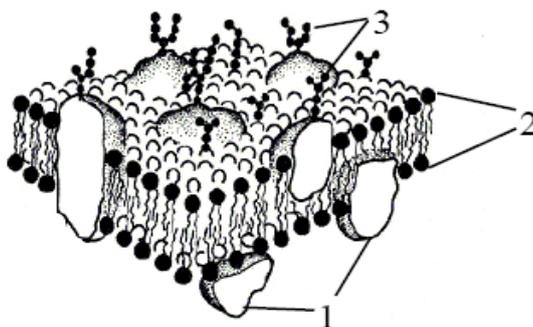


Рисунок 11 — Схема строения клеточной мембраны:

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

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

Белки мембраны бывают трех видов:

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

2) *полуинтегральные* — белки, частично погруженные в бислоем 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.

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, т. е. 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 плазмалемму

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 (т. е. 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, мочевины, 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, т. е. 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).

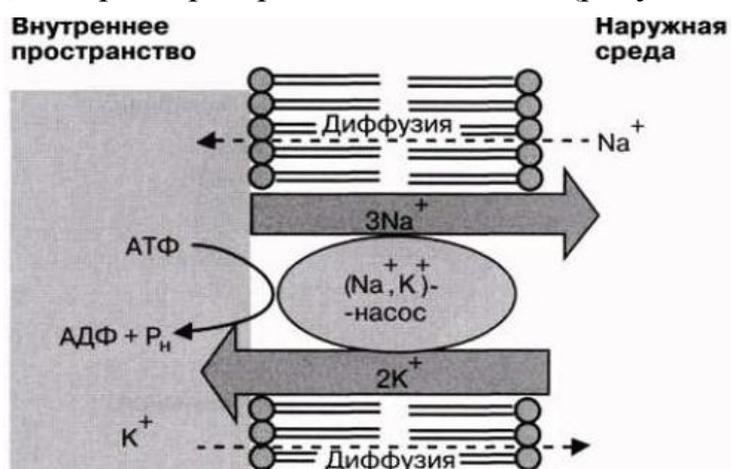


Рисунок 12 — Схема работы натрий-калиевого насоса

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 мембрана приблизительно в 100 раз более проницаема, 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.

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 амeboидных 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).

Тема 8. Цитоплазма и ее строение

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 *микротрабеку-*

лярной 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 местоположением 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).

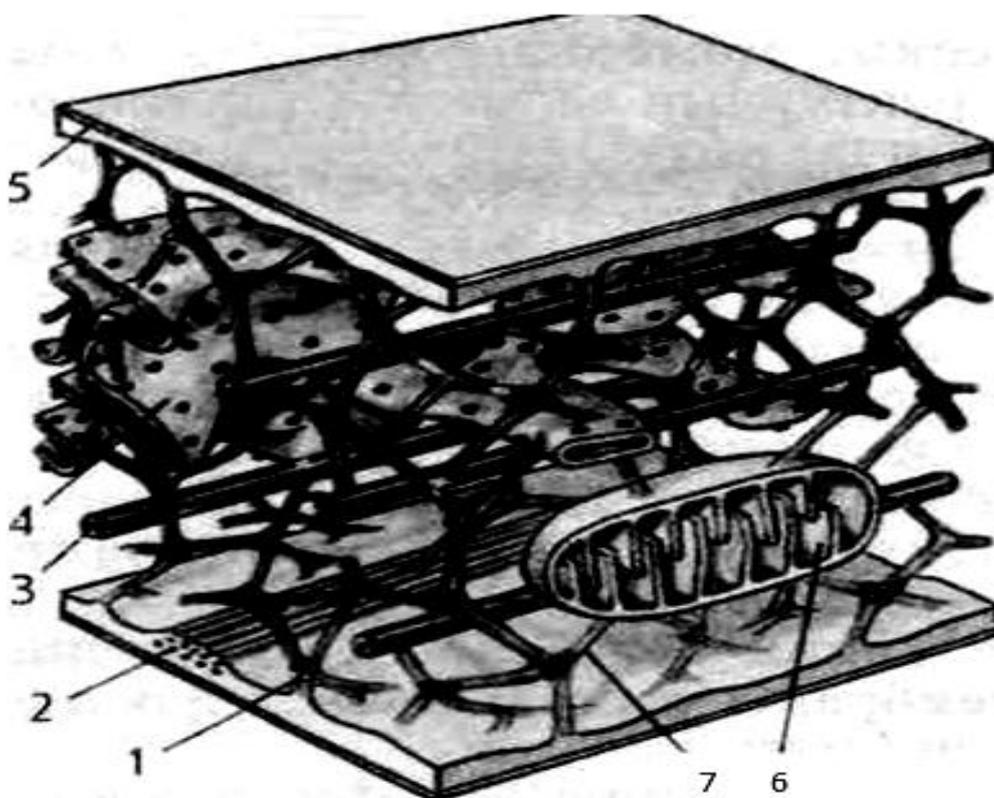


Рисунок 13 — Схема организации цитоскелета клетки:

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).

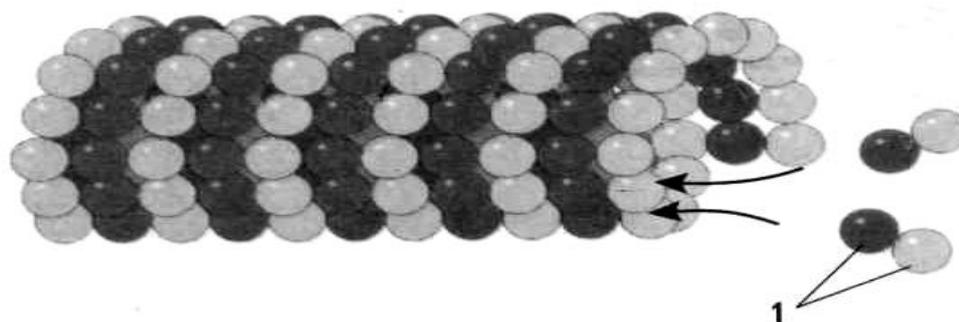


Рисунок 14 — Схема строения микротрубочки: 1 — тубулиновые субъединицы

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.

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).

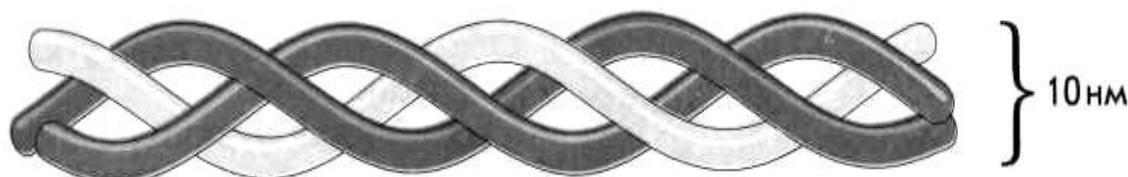


Рисунок 16 — Схема строения промежуточного филамента

Тема 9. 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. Представляет собой систему каналов и полостей, окруженных мембраной. Мембрана ЭПС морфологически идентична мембранам оболочки клеточного ядра и соединяется с перинуклеарным пространством. 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.

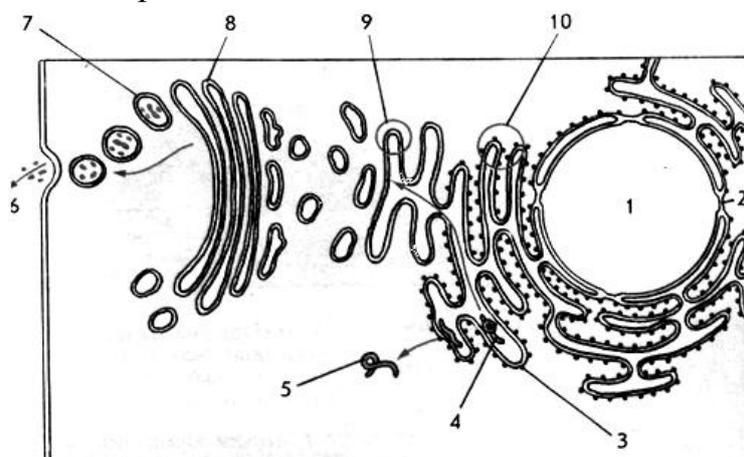


Рисунок 17 — Взаимодействие мембранных систем клетки:

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 функций, 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 клещевины.

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).

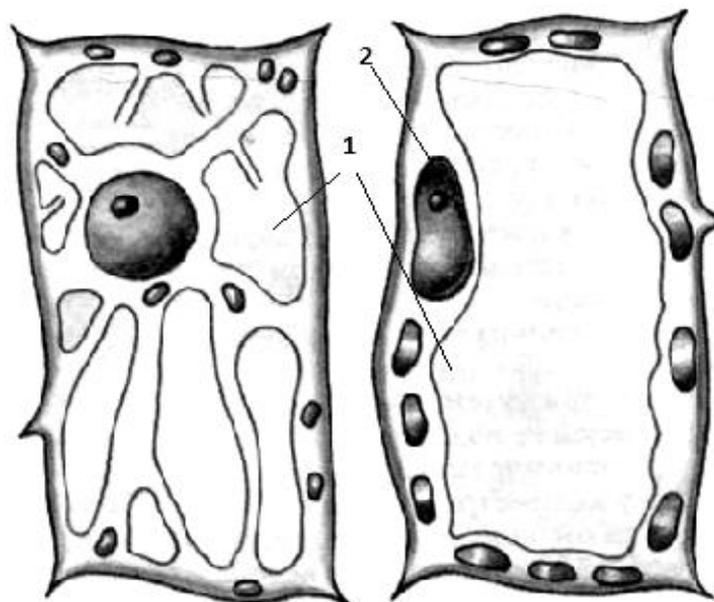


Рисунок 18 — Вакуоли растительной клетки: 1 — вакуоль; 2 — ядро клетки

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.

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.

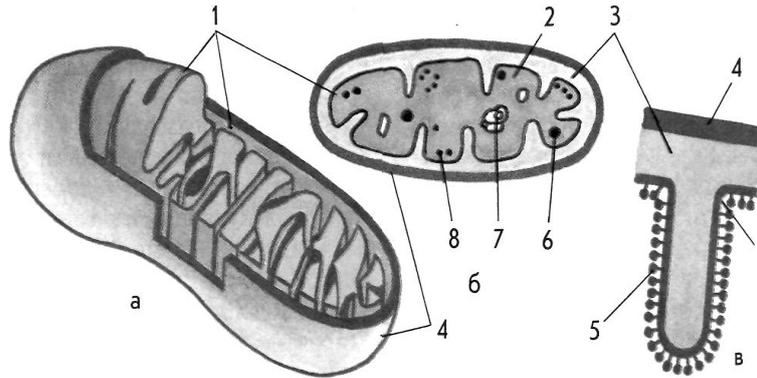


Рисунок 19 — Схема строения митохондрии: а — трехмерная структура; б — продольный разрез; в — часть кристы; 1 — внутренняя мембрана; 2 — матрикс; 3 — межмембранное пространство; 4 — наружная мембрана; 5 — АТФ-сомы; 6 — гранулы; 7 — ДНК; 8 — рибосомы

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.

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 — *протеиноласты*.

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.

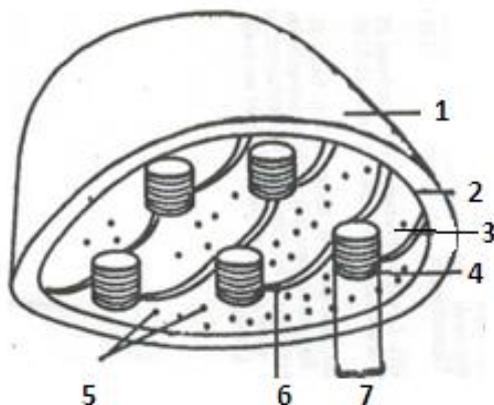


Рисунок 20 — Схема строения хлоропласта:

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

Хлоропласты — полуавтономные органоиды клетки, в которых синтезируются собственные белки. Размножаются путем деления пополам и образуются из пропластид и лейкопластов.

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 (рисунок 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.

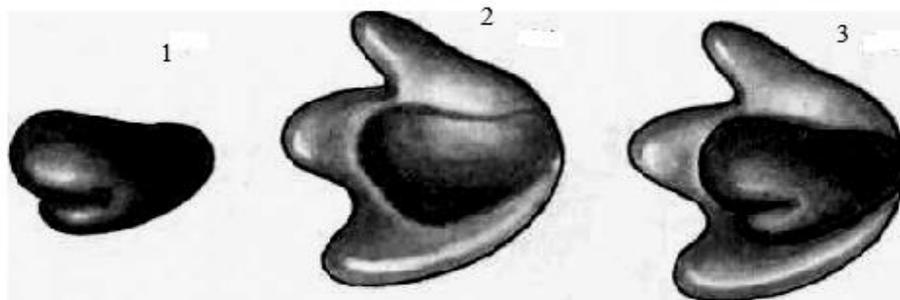


Рисунок 21 — Схема строения рибосомы:
1 — малая субъединица; 2 — большая субъединица; 3 — рибосома

Центриоли состоят из расположенных по окружности девяти групп микротрубочек (чаще по три), образующих полый цилиндр (рисунок 22). Вокруг каждой centrioles расположен тонковолокнистый матрикс. Пара centrioles, 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 centrioles 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 centrioles, микротрубочки цитоскелета исчезают и вокруг centrioles начинают формироваться нити веретена деления.

Функции centrioles:

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

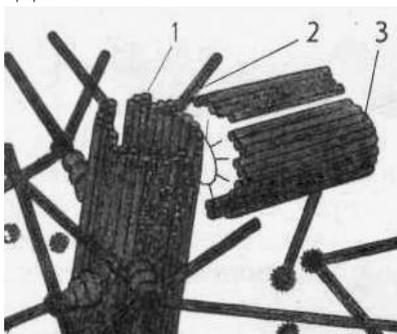


Рисунок 22 — Схема строения centrioles:
1 — материнская centriole; 2 — триплеты микротрубочек; 3 — дочерняя centriole

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).

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).

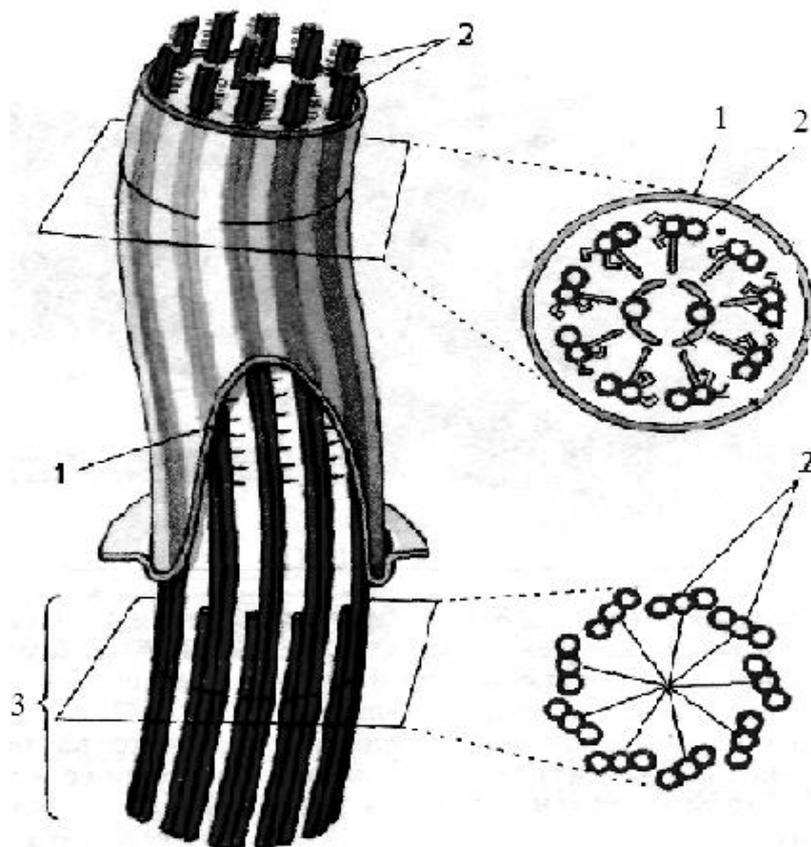


Рисунок 23 — Схема строения жгутика:

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

Тема 10. Ядро, строение и функции

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.

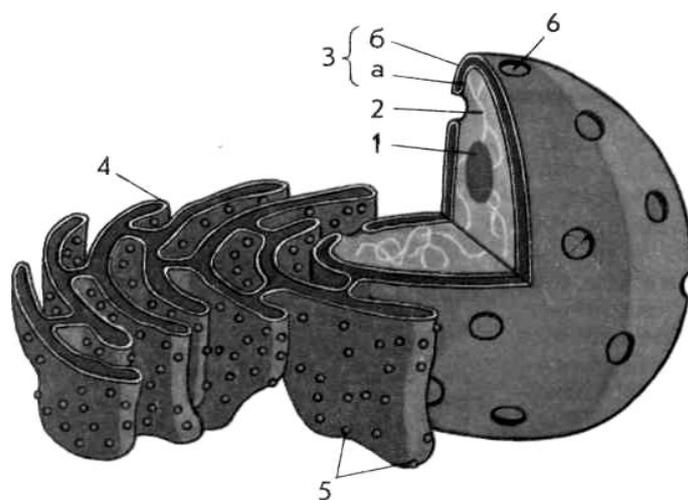


Рисунок 24 — Схема строения ядра:

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 (acroцентрические)* — 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 радиоларий (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.

Тема 11. Особенности строения клеток живых организмов

Особенности строения клеток прокариот

Форма клеток прокариот разнообразна: шаровидная (кокки), палочковидная (бациллы), в виде изогнутой (вибрионы) или спирально закрученной палочки (спириллы) и др.

Клетки прокариот ограничены от внешней среды цитоплазматической мембраной и муреиновой оболочкой, а у некоторых групп бактерий — дополнительной мембраной и слизистой капсулой. Клеточная мембрана прокариот образует многочисленные впячивания — мезосомы. На них располагаются ферменты, обеспечивающие протекание реакций обмена веществ.

Строение плазмалеммы сходно с таковой у эукариот. Однако, бактериальные клетки не имеют и большинства органелл, характерных для клеток эукариот, — митохондрий, пластид, эндоплазматической сети, комплекса Гольджи, лизосом, клеточного центра. В то же время в их цитоплазме располагаются многочисленные рибосомы, которые имеют сходное строение с рибосомами эукариот, но отличаются меньшими размерами. У некоторых бактерий обитателей водоемов *или* капилляров почвы, имеются особые газовые вакуоли. Изменяя в них объем газов, эти бактерии могут перемещаться в толще водной среды (всплывать, погружаться) с минимальными затратами энергии. В клетках цианобактерий обнаружены округлые замкнутые мембранные структуры — хроматофоры, в которых расположены фотосинтезирующие пигменты.

Цитоскелета в прокариотических клетках тоже нет. У некоторых прокариот имеются органоиды движения — один, несколько или много жгутиков. Жгутики могут быть длиннее самой клетки в несколько раз, однако они очень тонкие (10–25 нм), поэтому в световой микроскоп не видны.

Прокариоты, как следует из их названия, не имеют оформленного ядра. Их ядерное вещество представлено, как правило, единственной кольцевой молекулой ДНК, которая условно называется бактериальной хромосомой. Молекула ДНК располагается непосредственно в цитоплазме. Область цитоплазмы, в которой расположена ДНК, называется **нуклеоид**.

Большинство прокариот — одноклеточные организмы, но среди них есть колониальные и многоклеточные формы. Скопления клеток прокариот могут иметь вид нитей, гроздей и т. д., иногда они окружены общей слизистой капсулой.

Особенности строения клеток эукариот

Сходство в строении клеток эукариот. В настоящее время на Земле существует множество групп эукариотических организмов, объединенных в несколько царств. Несмотря на значительные различия в строении и образе жизни организмов разных групп эукариот, сходства между ними все

же больше. Общие признаки строения и функционирования эукариотических клеток:

- единый план строения клетки;
- наличие ядра, цитоплазмы с мембранными органоидами и включениями;
- принципиальное сходство процессов обмена веществ и энергии в клетке;
- сходные процессы деления клеток.

Различия в строении клеток эукариот. Клетки **растений** имеют жесткую оболочку. Она придает клеткам механическую прочность, защищает их от повреждений и избыточной потери воды, поддерживает форму и размер клеток, а также препятствует разрыву клеток в гипотонической среде.

Для оболочек клеток растений характерно наличие сложного каркаса из параллельно расположенных волокон целлюлозы, погруженного в аморфный матрикс. Линейные молекулы целлюлозы благодаря возникновению водородных связей могут соединяться в пучки или волокна. В клеточной оболочке целлюлозные волокна образуют фибриллы, которые располагаются параллельными рядами в матриксе. Кроме того, оболочки некоторых клеток растений способны пропитываться лигнином и одревесневать.

В состав матрикса входят различные полисахариды — гемицеллюлоза и пектиновые вещества. Цепочки этих веществ не кристаллизуются и не образуют фибрилл (поэтому их и называют аморфными).

Клетки листьев и молодых стеблей растений содержат хлоропласты, осуществляющие фотосинтез. В мембранах хлоропластов заключены светочувствительные пигменты — хлорофилл и каротиноиды. В клетках растений могут присутствовать и другие пластиды — хромопласты и лейкопласты.

Для клеток растений характерны крупные вакуоли, являющиеся резервуаром воды и выполняющие функцию осморегуляции. В клетках большинства растений отсутствуют центриоли (исключение составляют мхи и папоротники). Запасным питательным углеводом является крахмал, который откладывается в виде крахмальных зерен.

Клетки **животных** в поверхностном аппарате не имеют оболочек. В их клетках отсутствуют пластиды, нет крупных вакуолей, но есть центриоли. Запасным углеводом является гликоген, который откладывается в виде гранул в цитоплазме. Снаружи некоторых клеток животных имеются органоиды движения — реснички или жгутики.

У клеток **грибов**, как и у растений, есть жесткая клеточная оболочка. Волокнистые элементы клеточной оболочки образованы полисахаридом хитином. В цитоплазме клеток грибов имеется крупная вакуоль, заполненная водой с растворенными в ней веществами. Грибы, так же, как и животные, — гетеротрофы, т. е. питаются готовыми органическими веществами,

поэтому пластид в их клетках нет. Запасным питательным веществом в клетках грибов также является гликоген.

Протисты – неоднородная группа организмов. Существуют определенные различия в строении клеток разных групп протистов и в типах питания. По типу питания они подразделяются на три группы: автотрофные, автогетеротрофные и гетеротрофные протисты.

Автотрофные (*хлорелла, спирогира* и др.) и автогетеротрофные (*эвглена, хламидомонада* и др.) протисты синтезируют органические вещества из неорганических, используя энергию солнечного света. В их клетках содержатся хлоропласты с хлорофиллом. Хлоропласты имеют чрезвычайно разнообразную форму. Помимо хлоропластов, в клетках протистов содержатся вакуоли с клеточным соком. Эти две группы организмов, как правило, имеют наружную оболочку (углеводную или белковоуглеводную). Одноклеточные формы имеют светочувствительный глазок и сократительные вакуоли (у пресноводных форм).

Гетеротрофные протисты (*амебы, инфузории* и др.) потребляют готовые органические вещества, образуя пищеварительные вакуоли. У них отсутствуют пластиды и светочувствительный глазок. Не имеют они и оболочки.

Клетки некоторых одноклеточных и колониальных водных протистов снабжены ресничками (*инфузории*) или жгутиками (*хламидомонада, эвглена зеленая, вольвокс*).

Тема 12. Деление клеток. Интерфаза. Митоз. Амитоз

Все живые организмы состоят из клеток. Развитие, рост, становление типичной структуры организма осуществляется благодаря воспроизведению одной или группы исходных клеток. В процессе жизнедеятельности часть клеток организма изнашивается, стареет и погибает. Для поддержания структуры нормального функционирования организм должен производить новые клетки на смену старым. Единственным способом образования клеток является деление предшествующих. *Деление клеток* — жизненно важный процесс для всех организмов. В человеческом организме, состоящем примерно из 10^{13} клеток, каждую секунду должны делиться несколько миллионов из них.

Жизнь клетки от момента ее возникновения в результате деления материнской клетки до ее собственного деления или смерти называется *жизненным* (или *клеточным*) *циклом*. В течение жизни клетки растут, дифференцируются, выполняют специфические функции, размножаются и служат источником пополнения гибнущих в организме клеток.

Обязательным компонентом клеточного цикла является *митотический цикл*, включающий период подготовки клетки к делению и самое деление. В жизненном цикле имеются также периоды покоя, в ходе которых

клетка выполняет свойственные ей функции и избирает дальнейшую судьбу (погибает либо возвращается в митотический цикл). Подготовка клетки к делению, или *интерфаза*, составляет значительную часть времени митотического цикла и состоит из трех периодов: *пресинтетического*, или *постмитотического*, — G_1 , *синтетического* — S , *постсинтетического*, или *премитотического*, — G_2 .

Период G_1 — самый вариабельный по продолжительности. В это время в клетке активируются процессы биологического синтеза, в первую очередь структурных и функциональных белков. Клетка растет и готовится к следующему периоду.

Период S — главный в митотическом цикле. В делящихся клетках млекопитающих он длится около 6–10 ч. В это время клетка продолжает синтезировать РНК, белки, но самое важное — осуществлять синтез ДНК. К концу S — периода вся ядерная ДНК удваивается, каждая хромосома становится двунитчатой, т.е. состоит из двух хроматид — идентичных молекул ДНК.

Период G_2 относительно короток, в клетках млекопитающих он составляет порядка 2–5 ч. В это время количество центриолей, митохондрий и пластид удваивается, идут активные метаболические процессы, накапливаются белки и энергия для предстоящего деления. Клетка приступает к делению.

Митоз

Митоз — универсальный способ деления эукариотических клеток. Его продолжительность в клетках животных составляет около 1 ч. Митоз представляет собой непрерывный процесс, который условно делят на четыре фазы: профазу, метафазу, анафазу и телофазу (рисунок 25).

Профаза. В ядре начинается и постепенно нарастает спирализация ДНК. Хромосомы укорачиваются, утолщаются, становятся видимыми, приобретают типичную двуххроматидную структуру. Ядрышко постепенно исчезает. В цитоплазме вокруг каждой пары центриолей ориентируются микротрубочки, образуя центры веретена деления. Центриоли движутся к разным полюсам, микротрубочки вытягиваются вдоль оси клетки — начинается формирование ахроматидного веретена. Ядерная оболочка распадается на отдельные мелкие фрагменты. Нити веретена прикрепляются к хромосомам вблизи центромер. Хромосомы направляются к центру клетки.

Метафаза. Хромосомы максимально спирализуются и располагаются таким образом, что их центромеры лежат в одной плоскости — плоскости экватора клетки. Образуется метафазная пластинка. Завершается формирование митотического веретена. Центриоли попарно располагаются на противоположных полюсах, а нити веретена от разных полюсов прикрепляются к центромере каждой хромосомы.

Анафаза. Это самая короткая фаза митоза. Здесь происходят продольное расщепление каждой хромосомы, сокращение нитей веретена и расхождение хроматид (дочерних хромосом) по направлению к полюсам клетки.

Телофаза. Дочерние хромосомы, состоящие из одной хроматиды, достигают полюсов клетки. Составляющая их ДНК начинает деспирализироваться, появляется ядрышко, вокруг каждой группы дочерних хромосом образуется ядерная оболочка, нити ахроматинового веретена постепенно распадаются. Деление ядра завершается.

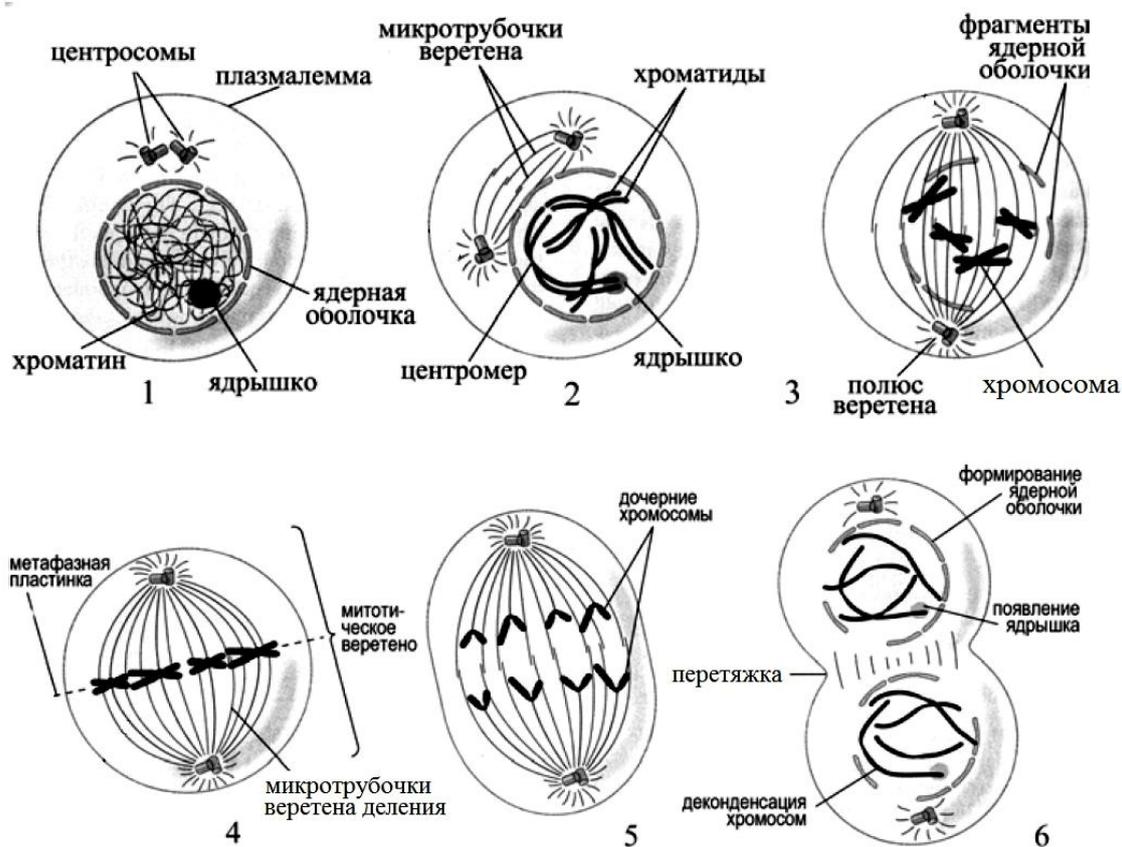


Рисунок 25 — Фазы митотического деления:

1 — интерфаза, 2 — профаза, 3 — прометафаза, 4 — метафаза, 5 — анафаза, 6 — телофаза

Начинается деление цитоплазмы (*цитотомия*) и образование перегородки между дочерними клетками. Животные клетки осуществляют цитотомию путем перетяжки цитоплазматической мембраны. У растений в плоскости экватора клетки образуется мембранная перегородка, которая растет в стороны, достигая клеточной стенки. В результате образуются две полностью разделенные дочерние клетки.

Проследим изменение наследственного материала в ходе митотического цикла. Главными событиями митотического цикла является *репликация ДНК*, происходящая в интерфазе и приводящая к удвоению количества наследственной информации, и расхождение хроматид, происходящее в анафазе митоза и обеспечивающее равномерное распределение наследственной информации между дочерними клетками.

В митотическом цикле изменяется также количество наследственного материала. Если число хромосом в гаплоидном наборе обозначать буквой *n*

(в диплоидном наборе соответственно $2n$), а число молекул ДНК обозначить буквой c , то можно проследить изменение формулы ядра соматической клетки на разных стадиях митотического цикла. До S-периода, когда каждая хромосома состоит из одной молекулы ДНК, общее количество ДНК в ядре соответствует числу хромосом в нем, а формула диплоидной клетки имеет вид $2n2c$. После репликации, когда ДНК каждой хромосомы себя удваивает, суммарное количество ДНК в ядре увеличивается вдвое и формула клетки приобретает вид $2n4c$. В результате расхождения хроматид в анафазе митоза дочерние ядра получают диплоидный набор однохроматидных хромосом. Формула дочерних клеток вновь становится $2n2c$.

Биологическое значение митоза заключается в том, что в результате этого способа деления образуются клетки с наследственной информацией, которая качественно и количественно идентична информации материнской клетки. Равномерное распределение наследственного материала обеспечивается процессами репликации ДНК и удвоения хромосом в интерфазе митотического цикла, а также спирализацией и равномерным распределением хроматид между дочерними клетками в процессе митоза. Митоз обеспечивает поддержание постоянства кариотипа в ряду поколений клеток и служит клеточным механизмом процессов роста и развития организма, а также регенерации и бесполого размножения.

Амитоз

Амитоз (от греч. «а» — отрицательная частица и «митоз») — простое (простое) деление интерфазного ядра путем перетяжки. Происходит вне митотического цикла, т. е. не сопровождается сложной перестройкой всей клетки; спирализации хромосом также не происходит. При этом делении не обеспечивается равномерное распределение генетического материала между дочерними ядрами. Амитоз может сопровождаться делением клетки, а может ограничиваться лишь делением ядра без разделения цитоплазмы, что приводит к образованию дву- и многоядерных клеток. Клетка, перетерпевшая амитоз, в дальнейшем неспособна вступить в нормальный митотический цикл. По сравнению с митозом амитоз встречается довольно редко. В норме он наблюдается в высокоспециализированных тканях, в клетках, которым уже не предстоит делиться: в эпителии и печени позвоночных, в зародышевых оболочках млекопитающих, в клетках эндосперма семени растений. Амитоз наблюдается также при необходимости быстрого восстановления тканей (после операций и травм). Амитозом также часто делятся клетки злокачественных опухолей.

Прямое бинарное деление

Бактериальные клетки содержат только одну кольцевую молекулу ДНК, прикрепленную к клеточной мембране. Перед делением клетки ДНК реплицируется и образуются две идентичные молекулы ДНК, каждая из которых также прикреплена к клеточной мембране.

При делении клетки клеточная мембрана вырастает между двумя молекулами ДНК так, что в конечном итоге в каждой дочерней клетке оказывается по одной идентичной молекуле ДНК. Такой процесс получил название *прямого бинарного деления*.

Гибель клеток

Гибель (смерть) отдельных клеток или их групп постоянно встречается у многоклеточных организмов, так же как и гибель одноклеточных организмов. Гибель клеток можно разделить на две категории: апоптоз и некроз (от греч. *некрос* — мертвый).

Апоптоз. В процессе развития и функционирования организмов часть клеток постоянно гибнет без физического или химического повреждения. Гибель клеток наблюдается практически на всех стадиях жизни организма и даже в эмбриональный период. Миллионами погибают клетки крови, эпидермиса кожи, толстого кишечника. Погибают фолликулярные клетки яичника после овуляции, клетки молочной железы после лактации. Особенно мною клеток гибнет без непосредственного повреждения при различных патологических процессах. Например, удаление гипофиза приводит к гибели клеток надпочечников. Таким образом, апоптоз как бы прерывает непрерывность клеточных делений. Но от своего «рождения» до апоптоза клетка проходит большое количество нормальных клеточных циклов. После каждого из них клетка должна перейти либо к митотическому циклу, либо к апоптозу.

Некроз обычно связан с нарушением внутриклеточного гомеостаза в результате нарушения проницаемости клеточных мембран. Это ведет к изменению концентрации ионов в клетке, необратимым изменениям митохондрии, что сразу вызывает прекращение всех жизненных функций, включая синтез макромолекул. Некроз вызывает повреждения цитоплазматической мембраны, возникающие под действием многих ядов. Причиной некроза могут быть также необратимые изменения энергетических процессов при недостатке кислорода.

Особенностью некроза является то, что такой гибели подвергаются целые группы клеток (например, при инфаркте миокарда из-за прекращения снабжения кислородом некротизируется большой участок сердечной мышцы). Обычно отмирающие клетки подвергаются атаке лейкоцитов и в зоне некроза развивается воспалительная реакция.

Тема 13. Деление клеток. Мейоз

Мейоз (от греч. *мейозис* — уменьшение) — способ деления клеток, приводящий к уменьшению в них числа хромосом вдвое. Мейоз является центральным звеном *гаметогенеза* у животных и *спорогенеза* у растений.

Мейоз состоит из двух последовательных действий, которым предшествует однократная редупликация ДНК. Все вещества и энергия, необхо-

димые для осуществления обоих делений, запасаются в ходе предшествующей мейозу интерфазы I. Интерфаза II практически отсутствует, и деления быстро следуют одно за другим. В каждом из делений мейоза различают те же четыре стадии: профазу, метафазу, анафазу и телофазу, которые характерны для митоза, но отличаются рядом особенностей.

Первое мейотическое деление (мейоз I) приводит к уменьшению вдвое числа хромосом и называется *редукционным*. В результате из одной диплоидной клетки ($2n$) образуются две гаплоидные (n) клетки (рисунок 26).

Профаза I мейоза наиболее продолжительна и сложна. Помимо типичных для профазы митоза процессов спирализации ДНК и образования веретена деления в профазе I происходят два исключительно важных в биологическом отношении события: *конъюгация*, или *синапсис*, гомологичных хромосом и *кроссинговер*.

Конъюгация — процесс тесного сближения гомологичных хромосом. Такие спаренные хромосомы образуют *бивалент* и удерживаются в его составе с помощью специальных белков. Поскольку каждая их хромосом состоит из двух хроматид, бивалент включает четыре хроматиды и называется также *тетрадой*.

В некоторых местах бивалента хроматиды конъюгированных хромосом перекрещиваются, рвутся и обмениваются соответствующими участками. Такой процесс обмена фрагментами гомологичных хромосом называется *кроссинговером*. Он обеспечивает образование новых комбинаций отцовских и материнских генов в хромосомах будущих гамет. Кроссинговер может происходить в нескольких участках (множественный кроссинговер), обеспечивая более высокую степень рекомбинации наследственной информации в гаметах. К концу профазы I степень спирализации хромосом возрастает, хроматиды становятся хорошо различимыми, нити веретена деления от каждого полюса прикрепляются к центромере одной из хромосом бивалента. Ядерная оболочка разрушается, и биваленты направляются к плоскости экватора клетки.

В *метафазе I* мейоза завершается формирование веретена деления, биваленты устанавливаются в плоскости экватора клетки.

В *анафазе I* мейоза под действием нитей веретена гомологичные хромосомы отходят друг от друга, направляясь к противоположным полюсам клетки. В результате у каждого из полюсов клетки формируется гаплоидный набор хромосом, содержащий по одной двуххроматидной хромосоме из каждой пары гомологичных хромосом. В анафазе I хромосомы разных пар, т.е. негомологичные хромосомы, ведут себя совершенно независимо друг от друга, обеспечивая образование самых различных комбинаций отцовских и материнских хромосом в гаплоидном наборе будущих гамет.

Итак, расхождение гомологичных хромосом в анафазе I мейоза обеспечивает не только редукцию числа хромосом в будущих половых клетках, но и огромное разнообразие последних в силу случайного сочетания отцовских и материнских хромосом разных пар.

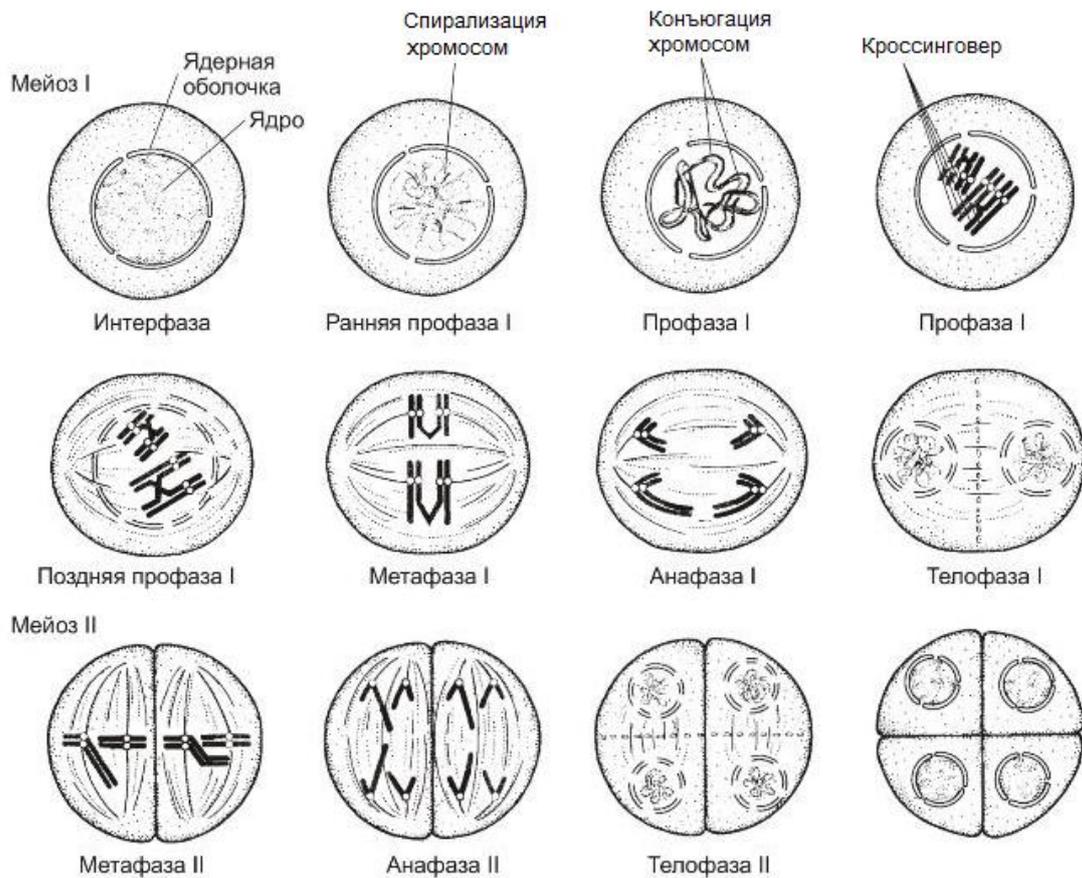


Рисунок 26 — Процессы, происходящие в мейозе.

Примечание. Показаны две пары гомологичных хромосом

В *телофазе I* мейоза происходит формирование клеток, ядра которых имеют гаплоидный набор и удвоенное количество ДНК, поскольку каждая хромосома состоит из двух хроматид. Клетки, образующиеся в результате первого мейотического деления, имеют формулу $n2c$ и после короткой интерфазы приступают к следующему делению.

Второе мейотическое деление (мейоз II) протекает как типичный митоз, но отличается тем, что вступающие в него клетки содержат гаплоидный набор хромосом. В результате такого деления n двуххроматидных хромосом ($n2c$), расщепляясь, образуют n однохроматидных хромосом (nc). Такое деление называется *эквационным* (или *уравнительным*).

Таким образом, после двух последовательных мейотических делений из одной клетки с диплоидным набором двуххроматидных хромосом ($2n4c$) образуются четыре клетки с гаплоидным набором однохроматидных хромосом (nc).

Биологическое значение мейоза заключается в образовании клеток с редуцированным набором хромосом и поддержании постоянства кариотипа в ряду поколений организмов, размножающихся половым путем. Мейоз служит основой комбинативной изменчивости, обеспечивая генетическое разнообразие гамет благодаря процессам кроссинговера, расхождения и комбинаторики отцовских и материнских хромосом.

Тема 14. Обмен веществ и превращение энергии в организме

Существование живых организмов возможно только благодаря поступлению в них веществ из окружающей среды, их превращению и выведению из организма продуктов жизнедеятельности. Любая живая клетка представляет собой активную, динамичную систему. В ней происходит преобразование энергии, синтез, распад и перенос веществ. Совокупность этих процессов носит название *обмен веществ* или *метаболизм* (от греч. *μεταβολε* — перемена, превращение).

В организмах одновременно происходят процессы двух типов: синтеза и расщепления веществ. Совокупность реакций синтеза сложных органических веществ из более простых называется *ассимиляцией* (от лат. ассимиляцио — усвоение) или *анаболизмом* (от греч. анаболе — подъем). Также эти процессы называются *пластическим обменом* (от греч. пластос — образованный). В ходе пластического обмена из веществ, поступивших из окружающей среды, синтезируются вещества, специфичные для данного организма (углеводы, жиры, белки и др.). Синтезированные вещества используются на построение новых клеток и обновление клеточных структур. Процессы синтеза идут с затратами энергии, которая сосредоточена в молекулах АТФ (аденозинтрифосфорной кислоты).

Расщепление сложных органических веществ и превращение их в конечные продукты обмена — углекислый газ, воду, аммиак — называется *диссимиляцией* (от лат. дис — нарушение; ассимиляцио — усвоение) или *катаболизмом* (от греч. катаболе — разрушение). Реакции катаболизма сопровождаются выделением энергии, часть которой теряется, рассеиваясь в виде тепла, а часть запасается в макроэргических (высокоэнергетических) фосфатных связях молекул АТФ. АТФ является универсальным хранителем и переносчиком энергии в клетках всех организмов. Совокупность реакций расщепления сложных соединений, сопровождающихся выделением энергии и синтезом молекул АТФ, называется *энергетическим обменом*.

Ассимиляция и диссимиляция проходят в клетке одновременно. Эти процессы взаимосвязаны. Энергия, освободившаяся в клетках в процессе диссимиляции, используется на биосинтез, а синтезированные в ходе ассимиляции органические вещества расщепляются в процессе диссимиляции.

Для осуществления любых проявлений жизнедеятельности необходима энергия. Она требуется для процессов биохимического синтеза, для всех видов движения, в том числе и мышечного, для передачи нервных импульсов. Энергия требуется также для образования теплоты и поддержания постоянной температуры тела у птиц и млекопитающих.

Энергия тратится и на процессы активного переноса веществ через плазматическую мембрану (в клетку и из клетки), причем на это расходуется весьма значительная часть энергетических ресурсов клетки. Расщеп-

ление органических веществ происходит постоянно, поэтому и синтез АТФ также происходит постоянно. За сутки в организме образуется и распадается около 60 кг АТФ.

Процессы ассимиляции не всегда уравновешены процессами диссимиляции. Так, в развивающемся организме преобладают процессы ассимиляции. Благодаря этому обеспечивается накопление веществ и рост организма. При интенсивной физической работе, недостатке питательных веществ или старении организма преобладают процессы диссимиляции.

Таким образом, ассимиляция и диссимиляция — это две стороны единого процесса обмена веществ и преобразования энергии в живых организмах (рисунок 27).

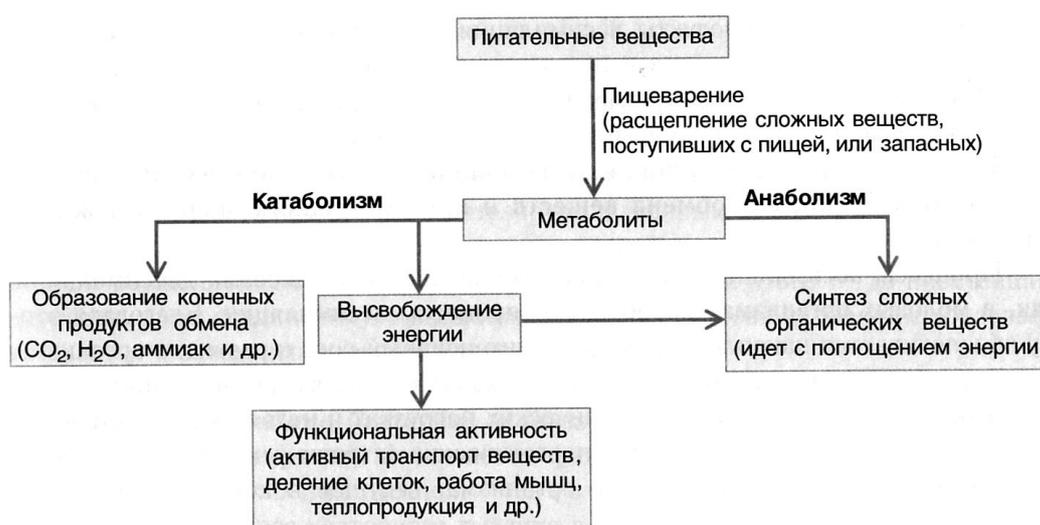


Рисунок 27 — Схема взаимосвязи обмена веществ и превращения энергии в организме

Энергетический обмен — неотъемлемая и составная часть обмена веществ и энергии в живом организме, включающая процессы поглощения, запасаения, передачи, трансформации, использования и выделения энергии. Сущность энергетического обмена — обеспечение энергетических потребностей клетки и организма в целом. Совокупность биохимических реакций, в результате которых органические вещества распадаются до простейших неорганических соединений, и при этом освобождается энергия химических связей, обеспечивающая жизнедеятельность организма, называется **дыханием** (рисунок 28).

Большинство живых организмов, обитающих на Земле, относятся к **аэробам** (от греч. *аэр* — воздух, *биос* — жизнь). Они используют в процессах обмена веществ кислород из окружающей среды. При **аэробном дыхании** субстрат без остатка расщепляется до бедных энергией неорганических веществ с высоким выходом энергии. Важнейшим субстратом для дыхания служат углеводы, кроме того, могут использоваться продукты расщепления жиров и белков.

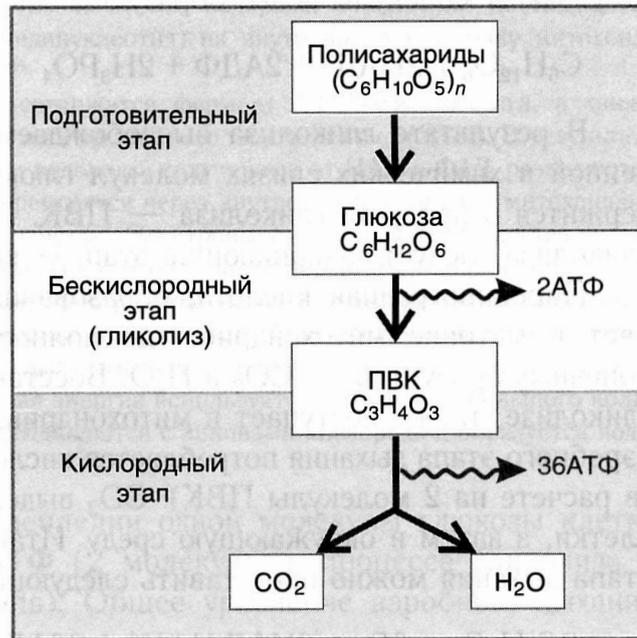


Рисунок 28 — Схема этапов клеточного дыхания

У аэробов энергетический обмен происходит в три этапа: подготовительный, бескислородный и кислородный.

1. Подготовительный этап заключается в расщеплении сложных органических веществ до более простых: полисахаридов — до моносахаридов, липидов — до глицерина и высших карбоновых кислот, белков — до аминокислот. Эти процессы происходят в пищеварительной системе животных и цитоплазме клеток. Энергии на этом этапе выделяется мало, и она не запасается в молекулах АТФ, а рассеивается в виде тепла. Напротив, для прохождения этих реакций требуются затраты энергии.

Образующиеся в ходе подготовительного этапа соединения могут использоваться клеткой в реакциях пластического обмена, а также для дальнейшего расщепления с целью получения энергии.

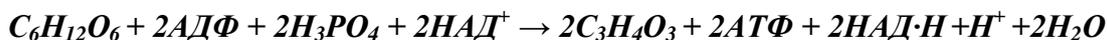
2. Бескислородный этап или неполный (анаэробное дыхание) заключается в ферментативном расщеплении органических веществ, которые были получены в ходе подготовительного этапа. Кислород на этом этапе не принимает участия.

Так как наиболее доступным источником энергии в клетке является продукт распада полисахаридов — глюкоза, то этот этап можно рассмотреть на примере ее расщепления — гликолиза.

Гликолиз — многоступенчатый процесс бескислородного расщепления молекулы глюкозы ($C_6H_{12}O_6$) до двух молекул трехуглеродной пировиноградной кислоты ($C_3H_4O_3$). Реакция катализируется многими ферментами и осуществляется в гиалоплазме. При этом от каждой молекулы глюкозы отщепляется четыре атома водорода. Атомы водорода присоединяются к переносчику $НАД^+$ (никотинамидадениндинуклеотиду), который

переходит в восстановленную форму НАД·Н. В ходе гликолиза при расщеплении 1 моль глюкозы выделяется 200 кДж энергии. До 60 % энергии рассеивается в виде тепла, а оставшихся 40 % энергии оказывается достаточно для синтеза двух молекул АТФ из двух молекул АДФ (аденозиндифосфорной кислоты).

Суммарная реакция гликолиза имеет вид:



Продукт гликолиза — пировиноградная кислота (ПВК) — включает в себе значительную часть энергии, поэтому дальнейшая судьба ее зависит от присутствия кислорода в клетке. В клетках аэробных организмов после гликолиза следует завершающий этап энергетического обмена — кислородное расщепление, или аэробное дыхание.

3. Кислородный этап (аэробное дыхание)

ПВК, образованная в результате гликолиза, поступает в митохондрии, проходя через обе их мембраны, и там полностью окисляется до конечных продуктов — углекислого газа и воды (CO_2 и H_2O). В ходе аэробного дыхания потребляется кислород и синтезируется большое количество АТФ. CO_2 выделяется из митохондрий в цитоплазму клетки, а затем в окружающую среду (рисунок 29).

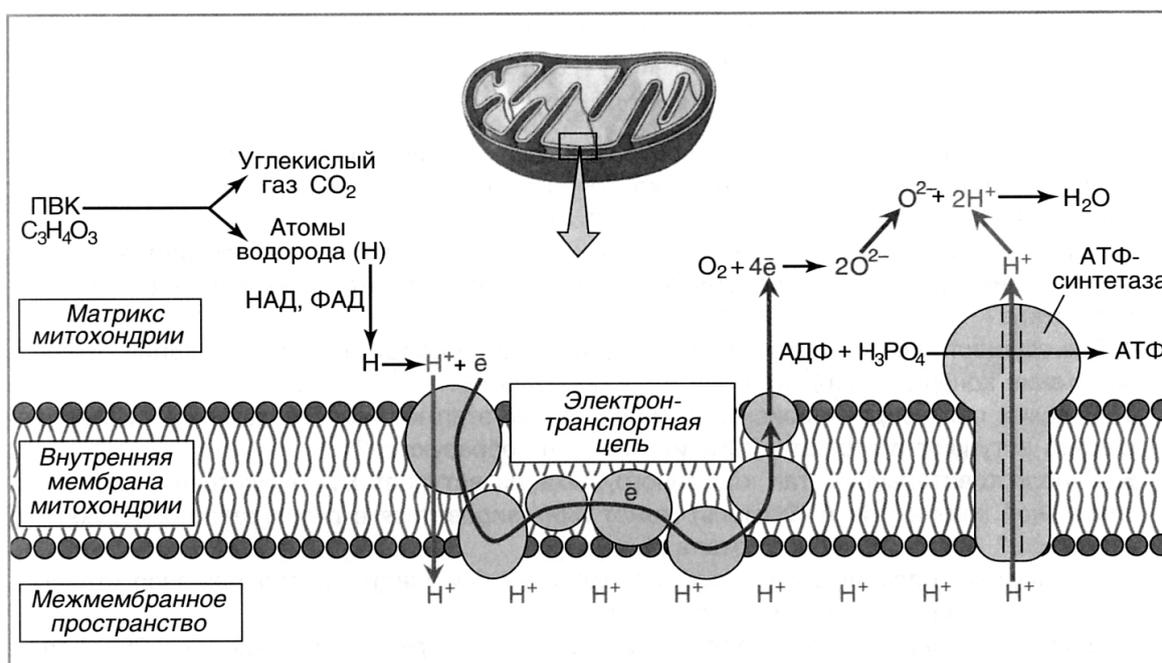


Рисунок 29 — Схема кислородного этапа клеточного дыхания

Аэробное дыхание состоит из трех стадий.

1. *Окислительное декарбоксилирование пировиноградной кислоты.* При участии ферментов ПВК взаимодействует со сложным органическим веществом коэнзимом А (КоА), в результате чего образуется соединение

ацетил-коэнзим А с высокоэнергетической связью. При этом от молекулы ПВК отщепляется молекула CO_2 и атомы водорода, которые связываются с НАД, восстанавливают его до НАД·Н.

2. *Цикл трикарбоновых кислот (цикл Кребса)* включает большое количество ферментативных реакций. Внутри матрикса митохондрий ацетил-коэнзим А, образованный на предыдущей стадии, расщепляется с выделением еще одной молекулы CO_2 и атомов водорода. Углекислый газ выводится из митохондрий и клеток, а атомы водорода восстанавливают коферменты НАД и ФАД (кофермент флавинадениндинуклеотид, еще один переносчик атомов водорода).

3. *Окислительное фосфорилирование* — многоступенчатый процесс переноса электронов от восстановленных НАД и ФАД на конечный акцептор — кислород. Во внутренней мембране митохондрий содержится фермент *АТФ-синтетаза*, а также белковые комплексы, образующие *электрон-транспортную цепь (ЭТЦ)*. В результате функционирования ЭТЦ атомы водорода, полученные от НАД и ФАД, разделяются на протоны (H^+) и электроны. Протоны переносятся через внутреннюю мембрану митохондрий и накапливаются в межмембранном пространстве. Электроны с помощью ЭТЦ доставляются в матрикс на конечный акцептор — кислород (O_2). Атомы водорода, акцептированные НАД и ФАД, вступают в цепь реакций, конечный результат которых — синтез АТФ.

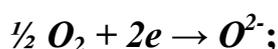
Это происходит в следующей последовательности:

1) атомы водорода отщепляются от НАД·Н₂ и ФАД·Н₂ и захватываются переносчиками, встроенными во внутреннюю мембрану митохондрии, которая образует множество впячиваний внутрь — так называемых *крист*, где происходит их окисление:



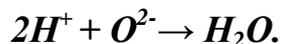
2) протоны водорода H^+ выносятся переносчиками на наружную поверхность крист. Для протонов эта мембрана, так же как и наружная мембрана митохондрии, непроницаема, поэтому они накапливаются в *межмембранном (перимитохондриальном) пространстве*, образуя *протонный резервуар*;

3) электроны (e) атомов водорода возвращаются по цепи дыхательных ферментов в матрикс и присоединяются к атомам кислорода, которые постоянно поступают в митохондрию. Атомы кислорода при этом становятся отрицательно заряженными:



4) катионы и анионы по обе стороны мембраны создают разноименно заряженное электрическое поле, т. е. возникает разность потенциалов. Когда она достигает 200 мВ, начинает действовать протонный канал в молекулах АТФ-синтетазы (фермента, способного синтезировать АТФ из АДФ и фосфорной кислоты), которые встроены во внутреннюю мембрану митохондрий;

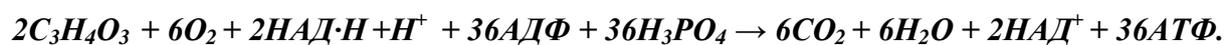
5) через протонный канал протоны водорода H^+ устремляются обратно в матрикс митохондрий, создавая высокий уровень энергии, большая часть которой идет на реакцию *фосфорилирования* (синтез АТФ из АДФ и фосфорной кислоты), а сами протоны водорода соединяются с активным кислородом (отрицательно заряженными частицами), образуя воду — второй конечный продукт клеточного дыхания:



В результате кислородного расщепления при распаде двух молекул ПВК синтезируются 36 молекул АТФ:

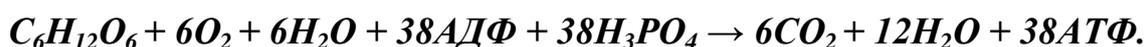


Итак, суммарное уравнение кислородного этапа дыхания можно представить следующим образом:



Следовательно, при полном расщеплении одной молекулы глюкозы клетка может синтезировать **38 молекул АТФ** (2 молекулы в процессе гликолиза и 36 молекул в ходе кислородного этапа).

Аэробное дыхание, включающее бескислородный и кислородный этапы, можно выразить суммарным уравнением:



Таким образом, кислород, поступивший в митохондрии, необходим для присоединения электронов, а затем и протонов. При отсутствии кислорода процессы, связанные с транспортом протонов и электронов в митохондриях, прекращаются, так как все переносчики атомов водорода окажутся загруженными и не смогут передавать водород дальше. В результате основной источник энергии для образования АТФ будет заблокирован.

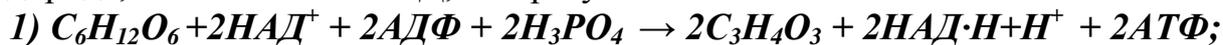
При распаде 1 молекулы глюкозы высвобождается 200 кДж энергии. В молекулах АТФ запасается 55 % энергии, остальная рассеивается в виде тепла.

Брожение

Некоторые клетки организмов, обитающих в бескислородной среде и не нуждающихся в кислороде (*анаэробов*), а также аэробов при недостатке кислорода способны синтезировать АТФ для жизнедеятельности, расщепляя питательные вещества в ходе бескислородного процесса — *брожения*. Суть его заключается в том, что глюкоза расщепляется до пировиноградной кислоты (как и в процессе гликолиза). Затем клетки превращают ПВК не в углекислый газ и воду, а в другие продукты. В зависимости от этого различают молочнокислое, спиртовое, уксуснокислое и другие виды брожения (рисунок 30).

При *молочнокислом брожении* глюкоза расщепляется до пировиноградной кислоты. При этом освобождаются атомы водорода, которые при-

соединяются к НАД⁺. Далее происходит восстановление ПВК атомами водорода, связанными с НАД, и образуется молочная кислота:



Суммарно этот процесс можно выразить уравнением:

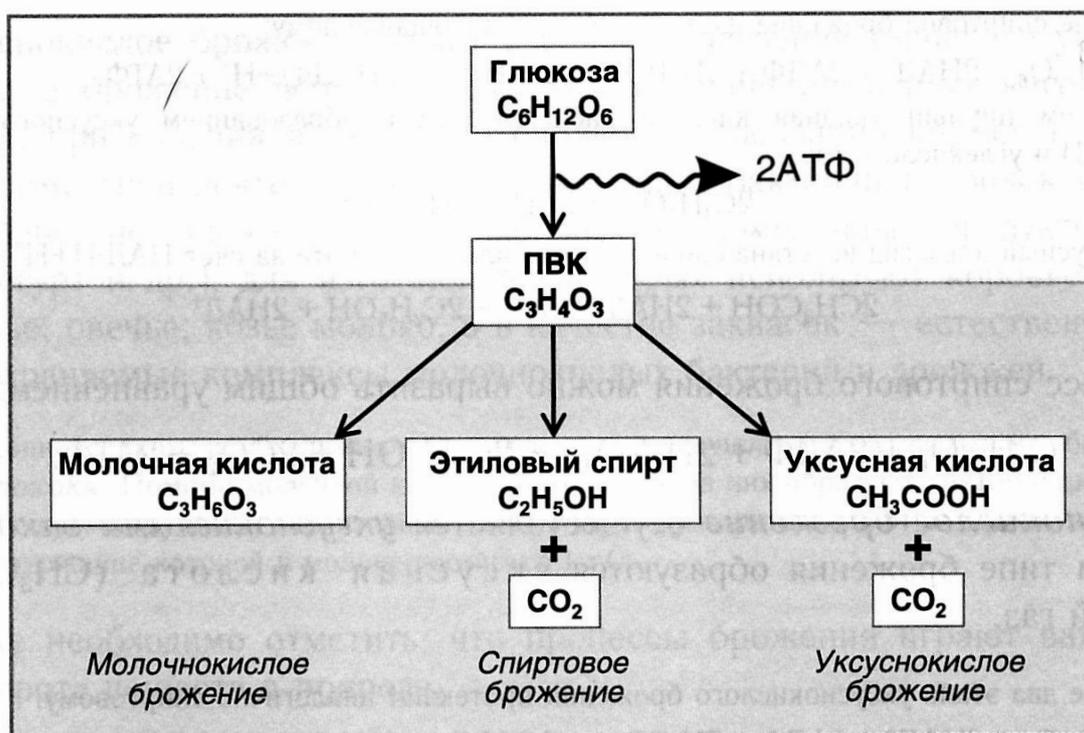


Рисунок 30 — Схема основных типов брожения

Молочнокислое брожение осуществляют *молочнокислые бактерии* (например, некоторые *стрептококки*). Образование молочной кислоты по такому типу осуществляется также в мышечных клетках человека и животных, которые находятся в условиях дефицита кислорода. Накопление молочной кислоты является одной из причин развития утомления мышц. С током крови молочная кислота поступает в печень и почки, где перерабатывается в глюкозу.

Процесс *спиртового брожения* осуществляют дрожжи. При спиртовом брожении глюкоза расщепляется до ПВК, которая, в свою очередь, расщепляется с образованием этилового спирта (C₂H₅ОН) и углекислого газа.

Вначале спиртовое брожение идет аналогично молочнокислому:



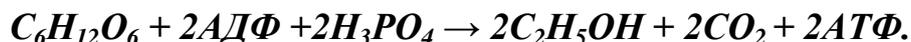
Затем пировиноградная кислота расщепляется с образованием уксусного альдегида и углекислого газа:



Уксусный альдегид восстанавливается до этилового спирта за счет НАД·Н+Н⁺ :



Суммарно спиртовое брожение можно выразить следующим уравнением:



Спиртовое брожение широко распространено в природе. Кроме дрожжей, его осуществляют некоторые анаэробные бактерии. Этот тип брожения наблюдается и в клетках растений в отсутствие кислорода.

Уксуснокислое брожение осуществляется уксуснокислыми бактериями. При этом типе брожения образуется уксусная кислота и углекислый газ. Первые два этапа протекают аналогично спиртовому:



Завершающий этап идет с участием кислорода, который окисляет уксусный альдегид в уксусную кислоту:



Процессы брожения находят широкое практическое применение. Спиртовое брожение лежит в основе промышленного получения различных спиртов, прежде всего этилового, а также вина и пива. Сбраживание дрожжами виноградного сока лежит в основе виноделия; сбраживание пивного сусла, приготовленного из проросших семян ячменя, специальными пивными дрожжами — в основе пивоварения. Использование дрожжей в хлебопечении связано с тем, что углекислый газ, образующийся в процессе спиртового брожения, разрыхляет тесто, делая его пышным.

Уксуснокислое брожение лежит в основе получения пищевого уксуса. Молочнокислое брожение используется для получения различных кисломолочных продуктов, при солении и квашении овощей, силосовании кормов и т. д.

Продуктом совместной деятельности молочнокислых бактерий и дрожжей является кефир. Известно множество кисломолочных продуктов (кумыс, айран, йогурт и др.), для изготовления которых используется коровье, кобылье, верблюжье, овечье, козье молоко, а в качестве заквасок — естественно возникшие и сохраняемые комплексы молочнокислых бактерий и дрожжей.

Тема 15. Хранение наследственной информации.

Генетический код и его свойства

Все морфологические, анатомические и функциональные особенности любой живой клетки и организма в целом определяются структурой специфических белков, входящих в состав клеток. Поэтому одним из важнейших процессов, происходящих в клетках живых организмов, является синтез белков.

Свойства белков определяются прежде всего их первичной структурой, т. е. последовательностью аминокислот, из которых построены их молекулы. Информация о первичной структуре белка заключена в последовательности нуклеотидов в молекулах ДНК. Следовательно, информация о строении и жизнедеятельности как клетки, так и многоклеточного организма заключена в нуклеотидной последовательности ДНК. Эта информация названа *наследственной* или *генетической*. Единая система записи информации о первичной структуре белка в виде последовательности нуклеотидов в полинуклеотидной цепи представляет собой *генетический код*.

Свойства генетического кода:

1) код является *триплетным*, т. е. каждая аминокислота кодируется сочетанием из трех последовательно расположенных нуклеотидов четырех типов (А, Г, Т, Ц), которое называется *триплетом* или *кодонам*;

2) код является *множественным* или *вырожденным*, т. е. одна и та же аминокислота может кодироваться несколькими триплетами (от 2 до 6). Нетрудно подсчитать, что число возможных комбинаций из четырех типов нуклеотидов по три (4^3) составит 64, что более чем достаточно для кодирования 20 аминокислот, входящих в состав белка. Исключение составляют метионин и триптофан: каждая из этих аминокислот кодируется только одним триплетом;

3) код *однозначен*, т. е. каждый триплет кодирует только одну аминокислоту;

4) код является *неперекрывающимся*, т. е. один и тот же нуклеотид не может входить одновременно в состав двух соседних триплетов;

5) код *непрерывен* или *не имеет знаков препинания*. Считывание информации происходит последовательно — нуклеотид за нуклеотидом. Если произойдет выпадение одного нуклеотида, его место займет ближайший нуклеотид из соседнего кодона, из-за чего изменится весь порядок считывания информации. Поэтому правильное считывание кода с иРНК обеспечивается только в том случае, если он считывается со строго определенного пункта. Этим пунктом является стартовый кодон (в молекуле иРНК это триплеты АУГ и ГУГ);

6) нуклеотидный код *универсален* для всех живых организмов и вирусов: одинаковые триплеты кодируют одинаковые аминокислоты. Это открытие представляет собой серьезный шаг на пути к более глубокому познанию сущности живой материи, ибо универсальность генетического кода свидетельствует о единстве происхождения всех живых организмов.

К настоящему времени расшифрованы триплеты для всех 20 аминокислот, входящих в состав природных белков. Таким образом, зная порядок расположения триплетов в молекуле ДНК или иРНК (генетический код), можно установить порядок расположения аминокислот в белке.

В одной молекуле ДНК может быть закодирована последовательность аминокислот для многих белков. Функциональный отрезок молекулы

ДНК, несущий в себе информацию о структуре одного белка, называется **геном**. Различают структурные гены, в которых закодирована информация для синтеза структурных и ферментных белков, и гены с информацией для синтеза тРНК, рРНК и др.

Итак, план построения белка закодирован в ДНК, которая непосредственного участия в синтезе белковых молекул не принимает. Она служит лишь матрицей для синтеза иРНК.

Тема 16. Реализация наследственной информации. Биосинтез белка

Процесс биосинтеза белка осуществляется на рибосомах, расположенных преимущественно в цитоплазме, а хранителем генетической информации является ДНК. Следовательно, для передачи генетической информации с ДНК, находящейся в ядре, к месту синтеза белка требуется посредник. Таким посредником является **информационная (матричная) РНК (иРНК)**, которая на основе принципа комплементарности синтезируется на одной из цепей молекулы ДНК.

Таким образом, реализация наследственной информации в клетке осуществляется в два этапа: сначала информация о структуре белка копируется с ДНК на иРНК, а затем реализуется на рибосомах в виде конечного продукта — белка. *Поток генетической информации* в клетке можно представить в виде схемы:



Переписывание наследственной информации с ДНК на иРНК называется **транскрипцией**. Транскрипция происходит не на всей молекуле ДНК одновременно, а лишь на небольшом ее участке, отвечающем определенному гену. При этом часть двойной спирали ДНК раскручивается. Происходит разъединение комплементарных цепей и обнажается короткий участок одной из них, который теперь будет служить матрицей для синтеза иРНК.

Вдоль этой цепи движется фермент РНК-полимераза, соединяя между собой свободные нуклеотиды в растущую цепь иРНК. Полученная иРНК комплементарна участку транскрибируемой цепи ДНК, т. е. порядок нуклеотидов в иРНК строго определен порядком нуклеотидов в ДНК. Так, если в молекуле ДНК имеется нуклеотид, содержащий азотистое основание цитозин, то в РНК — гуанин, и наоборот (Ц-Г, Г-Ц). В ДНК комплементарной парой являются аденин и тимин. Однако в состав нуклеотидов иРНК вместо тимина входит урацил, т. е. тимину ДНК комплементарен урацил РНК (Т-У) (рисунок 31).

Начало и конец синтеза всех типов РНК на матрице ДНК строго фиксирован специальными участками, которые контролируют запуск (*иниции-*

рующие) и остановку синтеза РНК (*терминирующие*). Поэтому в начале каждого гена находится особая специфическая последовательность нуклеотидов, называемая *промотором*. РНК-полимераза распознает промотор, взаимодействует с ним и начинает синтез цепочки иРНК. Синтез длится до тех пор, пока фермент не дойдет до особой последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК — *терминатора*. Эта последовательность указывает на то, что синтез иРНК должен прекратиться.

Транскрипция может происходить одновременно на нескольких генах одной хромосомы и на генах, расположенных в разных хромосомах.

На специальных генах синтезируются и два других типа РНК — тРНК и рРНК.

У прокариот синтезированные молекулы иРНК могут сразу же взаимодействовать с рибосомами и участвовать в синтезе белков. У эукариот синтезированная в ядре иРНК отделяется от ДНК, взаимодействует со специальными ядерными белками и через поры в ядерной оболочке поступает в цитоплазму. После того, как образовалось достаточное количество молекул иРНК, транскрибированных с данного участка, транскрипция прекращается. Две цепи ДНК на этом участке вновь соединяются, восстанавливая двойную спираль.

Процесс синтеза белка из аминокислот называется *трансляцией*. Трансляция (от греч. *трансляцио* — передача) — это «перевод» последовательности нуклеотидов молекулы иРНК в последовательность аминокислот молекулы белка. Происходит это с участием рибосом.

Рибосомы — это сферические гранулы диаметром 15–35 нм. Они обнаружены в клетках всех организмов, в том числе прокариотических. Каждая рибосома состоит из двух нуклеопротеидных субъединиц разной величины (большой и малой), формы и химического строения, удерживающихся вместе благодаря присутствию в них ионов магния. Рибосомы состоят из примерно равных количеств белка и рибосомальной РНК (рРНК). Субъединицы рибосом располагаются поодиночке и объединяются в единую структуру только для синтеза белка.

В цитоплазме десятки тысяч рибосом (поодиночке или группами) прикреплены к элементам цитоскелета, поверхности эндоплазматической сети или ядра. Они обнаружены также в митохондриях и хлоропластах. Рибосомы, связанные с цитоскелетом, синтезируют белки, необходимые для нужд самой клетки. Рибосомы, прикрепленные к эндоплазматической сети и оболочке ядра, синтезируют белки, которые предназначены для выведения из клетки.

В процессе синтеза белка рибосома защищает иРНК и синтезируемый белок от разрушающего действия клеточных ферментов. Механизм защитного действия заключается в том, что нить иРНК проходит между большой и малой субъединицами рибосомы, а начальная часть вновь синтезируемого белка находится в каналоподобной структуре большой субъединицы.

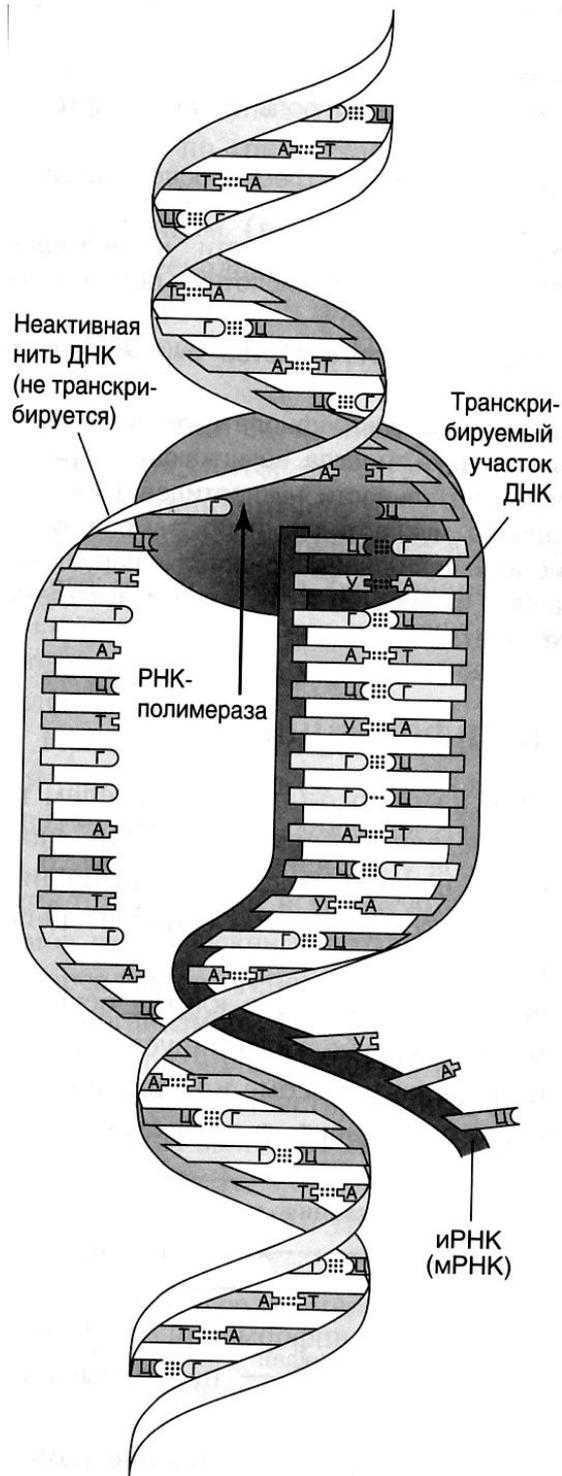


Рисунок 31 — Схема транскрипции

На одной молекуле иРНК может размещаться несколько рибосом. Их число определяется длиной иРНК. Комплекс из иРНК и рибосом (от 5–6 до нескольких десятков) называется *полисомой*. Образование полисом повышает эффективность функционирования иРНК за счет того, что одновременно протекает синтез нескольких одинаковых полипептидных цепей. Именно на полисомах происходит синтез белка, или трансляция.

Трансляция начинается со *стартового кодона АУГ*. Отсюда молекула иРНК прерывисто, триплет за триплетом продвигается через рибосомы, что сопровождается ростом полипептидной цепочки. Число аминокислот в таком белке равно числу триплетов иРНК.

Выстраивание аминокислот в соответствии с кодонами иРНК осуществляется на рибосомах при помощи тРНК — главных агентов синтеза белка. Благодаря определенному расположению комплементарных нуклеотидов цепочка тРНК имеет форму, напоминающую лист клевера. При этом тРНК имеет *акцепторный конец*, к которому присоединяется *активированная (богатая энергией) аминокислота*.

В противоположной части молекулы тРНК располагается специфический триплет (*антикодон*), который комплементарен кодону иРНК. Он отвечает за прикрепление к определенному триплету иРНК (кодону) (рисунок 9).

Активацию аминокислот осуществляют специфичные ферменты аминоацил-тРНК-синтетазы, т. е. для каждой аминокислоты существует свой фермент. Механизм активации заключается в том, что фермент одновременно взаимодействует с соответствующей аминокислотой и АТФ, которая теряет при этом пирофосфат, и образуется так называемый *аминоацил-ладенилат*. Далее происходит присоединение активированной аминокислоты к акцепторному концу специфической тРНК с высвобождением АМФ. Активированная аминокислота способна спонтанно образовать пептидную связь, что приводит к синтезу полипептидов. Данный процесс активации — необходимый этап белкового синтеза, поскольку свободные аминокислоты не могут прямо присоединяться к полипептидной цепи.

Следующий этап — связывание *аминоацил-тРНК* (тРНК, нагруженной аминокислотой) с рибосомами и включение аминокислот в белок с высвобождением тРНК. Таким образом, именно комплекс аминоацил-тРНК считывает информацию, закодированную в иРНК.

В рибосоме выделяют два участка для связывания тРНК. В одном участке (*аминоацильном*) размещается аминоацил-тРНК, несущая аминокислоту, в другом (*пептидильном*) располагается тРНК, нагруженная цепочкой аминокислот (пептидным фрагментом).

Начальная фаза синтеза белка заключается в объединении двух находящихся до этого порознь субчастиц рибосомы на определенном участке иРНК и присоединении к нему первой аминоацил-тРНК. Малая субчастица соединяется с иРНК таким образом, что стартовый кодон (АУГ) располагается в области пептидильного участка (рисунок 32).

Комплекс аминоацил-тРНК с помощью антикодона по принципу комплементарности присоединяется к кодону иРНК на малой субъединице рибосомы. После связывания иРНК с малой субъединицей, к ней присоединяется большая субъединица. Затем к той же рибосоме прикрепляется второй ком-

плекс аминоксил-тРНК в соответствии со следующим кодоном, который оказывается в аминоксилном участке. В рибосоме оказываются две аминоксилоты, ориентированные по отношению друг к другу таким образом, что карбоксилная группа одной аминоксилоты оказывается рядом с аминоксилгруппой другой аминоксилоты. В результате между ними возникает пептидная связь, после чего первая тРНК освобождается и покидает рибосому.

После этого рибосома продвигается по иРНК на шаг, равный одному кодону. Далее к образовавшемуся дипептиду таким же образом присоединяется третья аминоксилота, принесенная в рибосому своей тРНК, и рибосома сдвигается еще на один триплет. Процесс продолжается до тех пор, пока рибосома не дойдет до одного из трех терминирующих кодонов: УАА, УАГ или УГА. После встречи с терминирующим кодоном синтез белка прекращается. К последней аминоксилоте пептидной цепи присоединяется вода, и ее карбоксилный конец отделяется от тРНК. Пептидная цепь теряет связь с рибосомой и рибосома распадается на две субъединицы.

Таким образом, последовательность кодонов иРНК определяет последовательность включения аминоксилот в цепь белка.

Каждый этап биосинтеза катализируется соответствующими ферментами и снабжается энергией за счет расщепления АТФ.

После завершения синтеза белка иРНК под действием ферментов распадается на отдельные нуклеотиды.

Все описанные реакции происходят непрерывно и идут с большой скоростью: за 1 мин образуется от 50 до 60 тыс. пептидных связей. Синтез одной молекулы белка длится всего 3–4 с. В результате половина белков нашего тела (в среднем в нем около 17 кг белка) обновляется за 80 дней. За всю жизнь человек обновляет свои белки около 200 раз.

Если синтез белка происходил на рибосомах, связанных с шероховатой эндоплазматической сетью, то образовавшаяся полипептидная цепь поступает в каналы ЭПС, по которым транспортируется в комплекс Гольджи. Там происходит созревание белка, т. е. формирование вторичной, третичной и четвертичной структуры, присоединение небелковых компонентов и др. Если синтез белка осуществлялся на рибосомах, свободно расположенных в гиалоплазме, то синтезированная молекула транспортируется к определенным участкам клетки, где и приобретает соответствующую структуру.

Таким образом, генетическая информация, которая содержится в ДНК, в результате процессов транскрипции и трансляции реализуется в клетке в виде белков. Синтез белков обеспечивается взаимодействием всех типов РНК. Транскрипция и трансляция осуществляются с использованием матриц — ДНК и иРНК соответственно. Поэтому, так же как и репликация, они являются *реакциями матричного синтеза*.

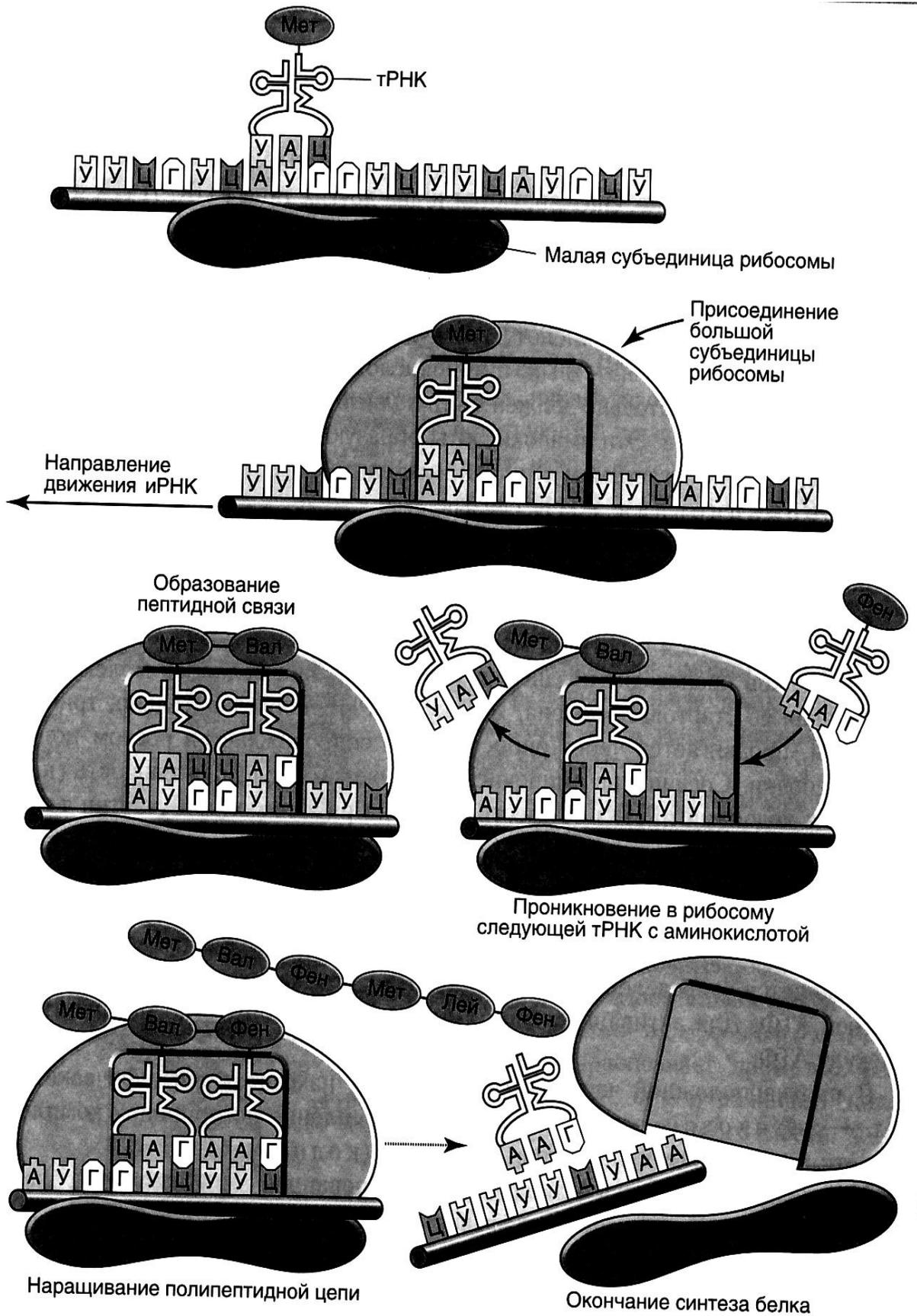


Рисунок 32 — Схема трансляции

Тема 17. Размножение организмов. Бесполое размножение и его формы

Размножение, или репродукция, — одно из основных свойств, характеризующих жизнь. Под размножением понимается способность организмов производить себе подобных. Явление размножения тесно связано с одной из черт, характеризующих жизнь, — дискретностью. Как известно, целостный организм состоит из дискретных единиц — клеток. Каждый вид организмов также дискретен, т. е. состоит из отдельных особей. Каждая из них смертна. Существование вида поддерживается размножением (репродукцией) особей. Следовательно, размножение – необходимое условие существования вида.

В процессе размножения особи родительского поколения передают потомкам генетическую информацию, обеспечивающую воспроизведение у них как признаков конкретных родителей, так и вида, которому они принадлежат. Благодаря размножению осуществляется смена и материальная преемственность поколений. В ходе размножения создаются уникальные комбинации наследственного материала и закрепляются возникающие у отдельных особей наследственные изменения. Это обуславливает генетическое разнообразие особей в пределах вида и служит основой для изменчивости вида и дальнейшей его эволюции. Таким образом, размножение, а точнее осуществляемая в ходе размножения смена поколений, служит непременным условием поддержания во времени биологических видов и жизни как таковой. Обычно выделяют два основных типа размножения: *бесполое* и *половое*. В основе классификации форм размножения лежит тип деления клеток: митотический (бесполое) и мейотический (половое). Формы размножения можно представить в виде следующей схемы:



Бесполое размножение осуществляется при участии лишь одной родительской особи. Особи дочернего поколения возникают из одной или группы клеток материнского организма. Наиболее широко бесполое раз-

множение распространено среди прокариот, грибов и растений, но встречаются и у различных видов животных. У одноклеточных эукариот это — деление, в основе которого лежит митоз, у многоклеточных организмов — вегетативное (лат. vegetatio — расти) размножение, т. е. частями тела или группой соматических клеток.

У *одноклеточных* растений и животных различают следующие формы бесполого размножения: деление, спорогония, множественное деление (шизогония) и почкование.

Деление характерно для одноклеточных (амебы, жгутиковые, инфузории). Сначала происходит митотическое деление ядра, а затем в цитоплазме возникает все углубляющаяся перетяжка. При этом дочерние клетки получают равное количество информации. Органоиды обычно распределяются равномерно. В ряде случаев обнаружено, что делению предшествует их удвоение. После деления дочерние особи растут и, достигнув величины материнского организма, переходят к новому делению.

Шизогония, или множественное деление, — она встречается у одноклеточных организмов, например у возбудителя малярии — малярийного плазмодия. При шизогонии происходит многократное деление ядра без цитокинеза, а затем и вся цитоплазма разделяется на частички, обособляющиеся вокруг ядер. Из одной клетки образуется много дочерних. Эта форма размножения обычно чередуется с половой.

Почкование заключается в том, что на материнской клетке первоначально образуется небольшой бугорок, содержащий дочернее ядро. Почка растет, достигает размеров материнской особи и затем отделяется от нее. Эта форма размножения наблюдается у бактерий, дрожжевых грибов, а из одноклеточных животных у инфузорий.

Спорообразование встречается у животных, относящихся к типу простейших, классу споровиков. Спора — одна из стадий жизненного цикла, служащая для размножения, она состоит из клетки, покрытой оболочкой, защищающей от неблагоприятных условий внешней среды. Некоторые бактерии после полового процесса способны образовывать споры. Споры бактерий служат не для размножения, а для переживания неблагоприятных условий.

При вегетативном размножении у *многоклеточных* организмов новый организм образуется из группы клеток, отделяющийся от материнского организма. Особенно широко вегетативное размножение распространено среди растений, у которых оно происходит за счет частей вегетативных органов или специально предназначенных для этой цели структур — луковиц, корневищ, клубней и др. Вегетативное размножение встречается лишь у наиболее примитивных из многоклеточных животных: губок, некоторых кишечнополостных, плоских и кольчатых червей.

У губок и гидры за счет размножения группы клеток на теле образуются *выпячивания (почки)*. В почку входят клетки экто- и энтодермы. У гидры почка постепенно увеличивается, на ней формируются щупальца, и,

наконец, она отделяется от материнской особи. Ресничные и кольчатые черви делятся перетяжками на несколько частей; в каждой из них восстанавливаются недостающие органы.

Фрагментацией называют разделение особи на две или несколько частей, каждая из которых растет и достраивает новый организм. Основу фрагментации составляет способность организмов к *регенерации*, т.е. восстановлению утраченных частей. Некоторые виды животных способны восстанавливать целый организм из незначительных фрагментов тела. Так, морские звезды восстанавливают целый организм из одного луча, а пресноводная гидра — из 1/200 своего тела.

Особой формой бесполого размножения следует признать *полиэмбрионию*, при которой эмбрион делится на несколько частей, каждая из которых развивается в самостоятельный организм. К этой категории явлений относится образование монозиготных близнецов у человека и других млекопитающих.

Бесполое размножение обеспечивает воспроизведение большого количества генетически идентичных особей. Поскольку основным клеточным механизмом бесполого размножения является митоз, особи дочернего поколения оказываются точными копиями родительского организма. Бесполое размножение более выгодно для организмов, обитающих в относительно постоянных условиях. Оно является более древней формой размножения, возникшей в процессе развития жизни раньше полового.

Тема 18. Половое размножение. Половой процесс

Половое размножение появилось более 3 млрд лет назад и встречается во всех крупных группах ныне существующих организмов. Сущность полового размножения заключается в объединении генетической информации от двух особей одного вида — родителей — в наследственном материале потомка. Наследственный материал каждой дочерней особи представляет собой уникальную комбинацию генетической информации родителей. Образующиеся в процессе полового размножения организмы отличаются друг от друга по генотипу, признакам, свойствам, характеру приспособленности к условиям обитания.

Таким образом, биологическое значение полового размножения заключается не только в самовоспроизведении особей, но и в обеспечении биологического разнообразия видов их адаптивных возможностей и эволюционных перспектив. Это позволяет считать биологически более прогрессивным, чем бесполое.

Исторически половому размножению предшествует **половой процесс**, при котором происходит обмен или объединение генетической информации двух особей без увеличения их количества. В процессе эволюции выделяют несколько форм полового процесса.

Конъюгация — половой процесс, при котором две особи временно соединяются друг с другом и *обмениваются генетической информацией* — фрагментами ДНК (бактерии) или частями ядер — микронуклеусами (инфузории).

При **копуляции** происходит слияние половых клеток, функции которых выполняют протисты на определенных стадиях своего развития. Если сливаются одинаковые по размерам, строению и подвижности клетки, процесс называется *изогамией*. В процессе эволюции клетки начинают отличаться по размерам, строению и подвижности. *Микрогаметы* — мужские клетки, мелкие и подвижные. *Макрогаметы* — женские клетки, крупные и малоподвижные. Микрогаметы и макрогаметы сливаются, образуя зиготу. Такой процесс называется *анизогамией* (характерен для малярийного плазмодия). *Оогамия* — *крайняя степень дифференцировки гамет* (характерна для животных, многих низших и всех высших растений).

Результатом эволюции полового процесса является *гаметическая копуляция*. Она характерна для многоклеточных организмов. При этом половой процесс трансформировался в **половое размножение**. В специальных органах (*гонадах*) образуются женские гаметы — *яйцеклетки* и мужские гаметы — *сперматозоиды* или *спермии* с гаплоидным набором хромосом. Слияние гамет в зиготу восстанавливает диплоидный набор хромосом. В зиготе объединяется генетическая информация обоих родителей.

Гермафродиты в одном организме имеют и женские и мужские гонады (яичники и семенники), у *раздельнополых организмов* содержатся или яичники или семенники. Гермафродитами являются плоские и многие кольчатые черви, некоторые моллюски и рыбы.

У большинства организмов половое размножение проходит с оплодотворением, которое следует за осеменением.

Особую форму полового размножения представляет собой **партеногенез**, или девственное размножение, — развитие организма из неоплодотворенной яйцеклетки. Эта форма размножения характерна главным образом для видов, обладающих коротким жизненным циклом.

Партеногенез может быть гаплоидным и диплоидным. При *гаплоидном (генеративном)* партеногенезе новый организм развивается из гаплоидной яйцеклетки. Получаемые при этом особи могут быть только мужскими, только женскими или того и другого пола. Например, у пчел, паразитических ос, муравьев самцы появляются в результате партеногенеза, в то время как из оплодотворенных яиц — диплоидные самки, что приводит к возникновению различных каст организмов.

У тлей, дафний, коловраток, некоторых ящериц наблюдается *диплоидный (соматический)* партеногенез, при котором самки формируют диплоидные яйцеклетки. В благоприятных условиях у дафний, например, не происходит мейоза: диплоидные яйцеклетки развиваются без оплодотворения и дают начало самкам. Это помогает поддерживать постоянство численности популяции в условиях, когда затруднена встреча особей разного пола.

Строение половых клеток (гамет)

Гаметы представляют собой высокодифференцированные клетки. В процессе эволюции они приобрели приспособления для выполнения специфических функций. Ядра как мужских, так и женских гамет в равной мере содержат наследственную информацию, необходимую для развития организма. Но другие функции яйцеклетки и сперматозоида различны, поэтому по строению они резко отличаются. *Яйцеклетки* неподвижны, имеют шарообразную или слегка вытянутую форму (рисунок 33). Они содержат все типичные клеточные органоиды, но строение их отличается от такового других клеток, так как приспособлено для реализации возможности развития целого организма. Яйцеклетки значительно крупнее, чем соматические клетки. Внутриклеточная структура цитоплазмы в них специфична для каждого вида животных, чем обеспечиваются видовые (а нередко и индивидуальные) особенности развития. В яйцеклетках содержится ряд веществ, необходимых для развития зародыша. К их числу относится питательный материал (желток). У некоторых видов животных накапливается столько желтка в яйцеклетках, что они могут быть видны невооруженным глазом (икринки рыб и земноводных, яйца рептилий и птиц). У птиц яйцом считается то, что в повседневной жизни называется «желтком»; диаметр яйца страуса 10,5 см, курицы — около 3,5 см. Небольшие размеры имеют яйцеклетки животных, у которых развивающийся зародыш получает питание из материнского организма, например, у высших млекопитающих. Диаметр яйцеклетки мыши — 60 мкм, коровы — 100 мкм. Яйцеклетка человека имеет в поперечнике 130–200 мкм.

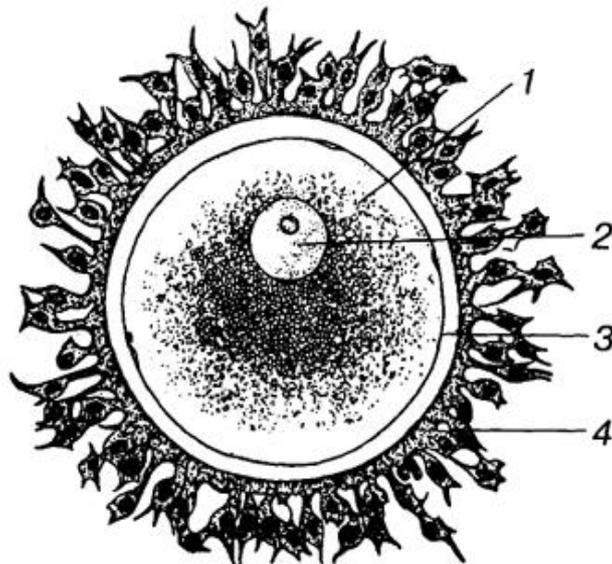


Рисунок 33 — Схема строения яйцеклетки:

1 — цитоплазма, 2 — ядро, 3 — оболочка, 4 — фолликулярные клетки

Яйцеклетки покрыты оболочками, которые выполняют защитную функцию, обеспечивают необходимый тип обмена веществ, у плацентар-

ных млекопитающих служат для внедрения зародыша в стенку матки, а также выполняют и другие функции.

Сперматозоиды обладают способностью к движению, чем в известной мере обеспечивается возможность встречи гамет. По внешней морфологии и малому количеству цитоплазмы сперматозоиды резко отличаются от всех других клеток, но все основные органоиды в них имеются.

Сперматозоид имеет головку, шейку и хвост. На переднем конце головки расположена акросома, состоящая из видоизмененного комплекса Гольджи. Основную массу головки занимает ядро. В шейке находятся центриоль и спиральная нить, образованная митохондриями (рисунок 34).

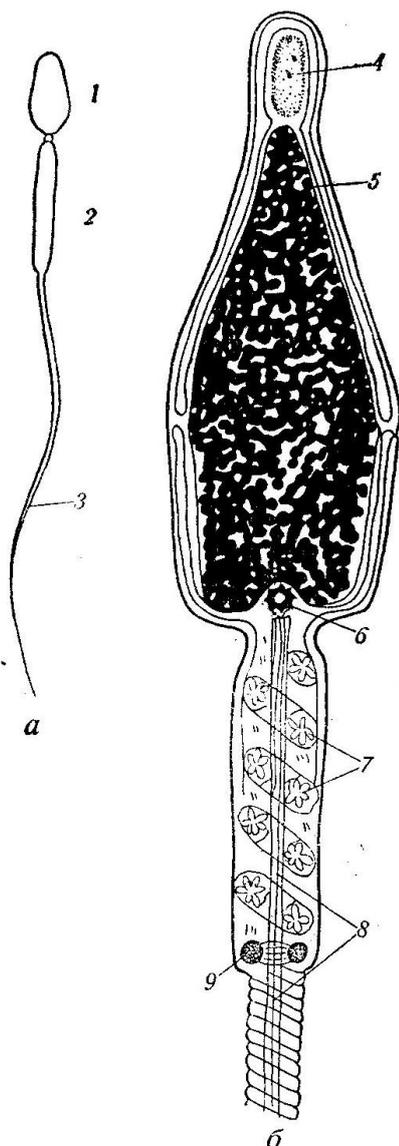


Рисунок 34 — Схема сперматозоида млекопитающего:

- а — общий, б — схема строения, 1 — головка, 2 — шейка, 3 — хвост, 4 — акросома,
5 — ядро, 6 — центросома, 7 — митохондриальная спираль, 8 — осевая нить,
9 — центральное кольцо

Размеры сперматозоидов всегда микроскопические. Наиболее круп-

ные они у тритона — около 500 мкм, у домашних животных (собака, бык, лошадь, баран) — от 40 до 75 мкм. Длина сперматозоидов человека колеблется в пределах 52–70 мкм. Все сперматозоиды несут одноименный (отрицательный) электрический заряд, что препятствует их склеиванию. Для некоторых животных характерны атипичные сперматозоиды, строение которых весьма разнообразно. Например, у ракообразных они обладают выростами в виде лучей или отростков, у круглых червей имеют форму шаровидных или овальных телец и т. д.

Процесс формирования половых клеток (гамет) известен под общим названием *гаметогенеза*. Он характеризуется рядом весьма важных биологических процессов и протекает несколько по-разному при созревании сперматозоидов (*сперматогенез*) и яйцеклеток (*овогенез*).

Образование половых клеток

Процесс образования половых клеток — *гаметогенез* — протекает в половых железах (гонадах). У высших животных женские гаметы образуются в яичниках, мужские — в семенниках. Процесс образования сперматозоидов называют *сперматогенезом*, яйцеклеток — *овогенезом*. Условно обе формы гаметогенеза делят на несколько фаз: размножения, роста, созревания и выделяемую при сперматогенезе фазу формирования (рисунок 35).

Фаза размножения характеризуется многократными митотическими делениями клеток стенки семенника или яичника, приводящими к образованию многочисленных *сперматогоний* и *овогоний*. Эти клетки, как и все клетки тела, диплоидны. Фаза размножения у мужчин начинается с наступлением половой зрелости и продолжается постоянно в течение почти всей жизни. В женском организме размножение овогоний начинается в эмбриогенезе и завершается к 3-му году жизни.

Фаза роста сопровождается увеличением объема цитоплазмы клеток, накоплением ряда веществ, необходимых для дальнейших делений, репликацией ДНК и удвоением хромосом. В фазе роста клетки получают название *сперматоцитов* и *овоцитов I порядка*. Фаза роста более выражена в овогенезе, поскольку овоциты I порядка накапливают значительные количества питательных веществ.

Фаза созревания характеризуется мейозом. При сперматогенезе в результате I мейотического деления образуются два одинаковых *сперматоцита II порядка*, каждый из которых после второго деления мейоза формирует по две *сперматиды*.

Деления созревания при овогенезе характеризуется рядом особенностей. Во-первых, профазы первого мейотического деления осуществляется еще в эмбриональном периоде, а остальные события мейоза продолжаются после полового созревания организма. Каждый месяц в одном из яичников половозрелой женщины созревает одна яйцеклетка. При этом завершается I деление мейоза, образуются крупный *овоцит II порядка* и маленькое пер-

вое полярное, или направительное, тельце, которые вступают во второе деление мейоза.

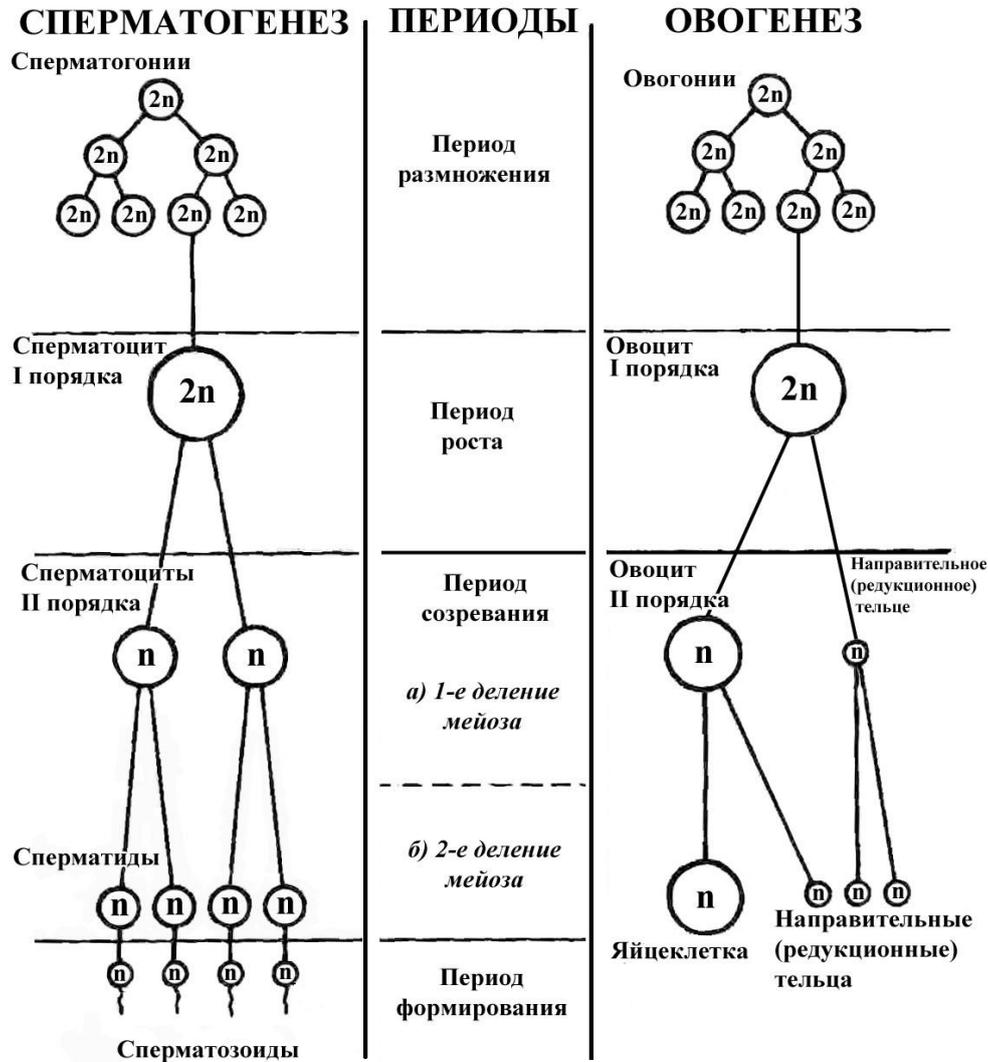


Рисунок 35 — Схема гаметогенеза

На стадии метафазы второго мейотического деления овоцит II порядка овулирует — выходит из яичник в брюшную полость, откуда попадает в яйцевод.

Дальнейшее созревание его возможно лишь после слияния со сперматозоидом. Если оплодотворения не происходит, овоцит II порядка погибает и выводится из организма. В случае оплодотворения он завершает второе мейотическое деление, образуя зрелую яйцеклетку — *овотида* — и второе полярное тельце. Полярные тельца никакой роли в овогенезе не играют и в конце погибают. Таким образом, в результате фазы созревания из каждой диплоидной клетки, обладающей двуххроматидными хромосомами, формируются гаплоидные клетки с однохроматидными хромосомами: при сперматогенезе — 4 сперматиды, при овогенезе — 1 овотида и 3 полярных тельца.

Фаза формирования характерна только для сперматогенеза, и сущ-

ность ее состоит в том, что сперматиды приобретают свойственную спермиям морфологию и подвижность.

Процессу оплодотворения (слияние ядер мужской и женской гамет) предшествует осеменение. **Осеменение** — процессы, обуславливающие встречу сперматозоида и яйцеклетки.

Существует два способа осеменения: наружное и внутреннее. При наружном осеменении сперматозоиды и яйцеклетки выделяются в воду, где и происходит их слияние. Наружное осеменение встречается у водных животных (многих беспозвоночных, рыб, амфибий). Внутреннее осеменение характерно для обитателей суши, где отсутствуют условия для сохранения и встречи гамет во внешней среде. При таком типе осеменения сперматозоиды вводятся в половые пути самки. У самцов для этого обычно имеются совокупительные органы. Внутреннее осеменение характерно для всех наземных позвоночных (рептилий, птиц, млекопитающих), а также для многих беспозвоночных (червей, пауков и насекомых). У некоторых животных наблюдается кожное осеменение, которое является переходной формой. Это характерно для немертин, пиявок.

Оплодотворение, его фазы, биологическая сущность

Наружная фаза оплодотворения. Сближение гамет относится к наружной фазе. Женские и мужские гаметы выделяют специфические соединения, которые называются гамонами. Яйцеклетками продуцируются гиногамоны I и II, сперматозоидами — андрогамоны I и II. Гиногамон I стимулирует подвижность сперматозоида. Гиногамон II блокирует двигательную активность сперматозоидов и способствует их фиксации на оболочке яйцеклетки. Андрогамон I тормозит движение сперматозоидов, что предохраняет их от преждевременной растраты энергии. Андрогамон II способствует растворению оболочки яйцеклетки.

В момент контакта сперматозоида с наружной оболочкой яйца начинается акросомная реакция. Она состоит в том, что ферменты акросомы растворяют оболочку яйцеклетки и в нее входят головка сперматозоида (ядро) и центросома, а мембраны половых клеток сливаются. В месте контакта сперматозоида с плазматической мембраной яйца образуется выпячивание или бугорок оплодотворения. Бугорок оплодотворения способствует втягиванию сперматозоида внутрь яйца. Слияние мужских и женских половых клеток называется **сингамия**. В ряде случаев (у млекопитающих) сперматозоид проникает в яйцо без активного участия бугорка оплодотворения. Ядро и центриоль сперматозоида переходят в цитоплазму яйца, что способствует завершению мейоза II в ооците.

Внутренняя фаза оплодотворения. Характеризуется кортикальной реакцией со стороны яйцеклетки. Происходит отслойка желточной оболочки, которая затвердевает и называется **оболочкой оплодотворения**. Оболочка оплодотворения препятствует проникновению в яйцеклетку дру-

гих сперматозоидов. В момент завершения мейоза формируется мужской и женский пронуклеусы. ДНК пронуклеусов удваивается и мужской пронуклеус увеличивается до размеров женского. Оба пронуклеуса сливаются. Слияние ядер гамет — **синкариогамия** составляет сущность процесса оплодотворения, в результате чего образуется зигота с диплоидным набором хромосом, которая сразу же вступает в митоз.

Онтогенез

Онтогенез — индивидуальное развитие организма от момента образования зиготы и до смерти. Выделяют 2 типа онтогенеза: непрямой и прямой.

Непрямое развитие характерно для червей, членистоногих, рыб и земноводных. Это развитие включает личиночный, метаморфоз и ювенильный периоды. В личиночный период из яйцевых оболочек выходит *личинка* (организм, не достигший зрелых черт организации) и начинает вести самостоятельный образ жизни. Характерные черты личинки — наличие временных (*провизорных*) органов. При метаморфозе (превращение личинки в ювенильную форму) происходит частичное разрушение, перестройка и новообразование органов. Степень преобразований тем больше, чем больше различия между средой обитания личинки и взрослого организма. В ювенильный период происходит половое созревание, иногда сопровождающееся интенсивным ростом, установлением окончательных пропорций тела и завершением развития половых желез.

Прямое развитие подразделяют на неличиночное и внутриутробное.

Неличиночный тип развития характерен для организмов, яйца которых содержат большое количество желтка, достаточное для завершения эмбриогенеза (рептилии, птицы). В этом случае вышедший из яйцевых оболочек организм сходен со взрослым, но имеет меньшие размеры.

Внутриутробный тип развития характерен для высших млекопитающих и человека, хотя яйцеклетки их содержат небольшое количество желтка. Женские особи млекопитающих имеют специальный орган для вынашивания детенышей — *матку*. В ней развивается *плацента*, через которую зародыш обеспечивается питательными веществами и кислородом. Новорожденные детеныши вскармливаются молоком.

В онтогенезе различают два периода — *эмбриональный* и *постэмбриональный*.

Эмбриональное, или зародышевое, развитие охватывает промежуток времени от первого деления зиготы до выхода из яйца или рождения молодой особи.

Эмбриональное развитие большинства животных проходит по единому плану и включает три основных этапа: *дробление*, *гастрюляцию* и *органогенез*.

Через некоторое время после оплодотворения в результате последовательных митотических делений зиготы образуются многочисленные *бластомеры*. При делении дочерние клетки не расходятся и не увеличиваются

в размерах. С каждым последующим делением они становятся все мельче и мельче. Деление, приводящее к увеличению числа клеток без их роста, называется *дроблением*.

У бедных желтком яиц (например, у яиц ланцетника) происходит полное дробление, т. е. делится вся масса яйца (рисунок 36). В случае большого количества запасных питательных веществ (желтка) наблюдается частичное дробление — дробится только диск цитоплазмы с ядром, а сам желток остается без изменений (головоногие моллюски, насекомые, костные рыбы, пресмыкающиеся, птицы). В результате дробления образуется однослойный многоклеточный зародыш — *бластула*. В типичном случае она напоминает полый шарик со стенкой (*бластодермой*) из одного ряда мелких бластомеров и центральной полостью (*бластоцелем*, или *первичной полостью тела*), заполненной жидкостью.

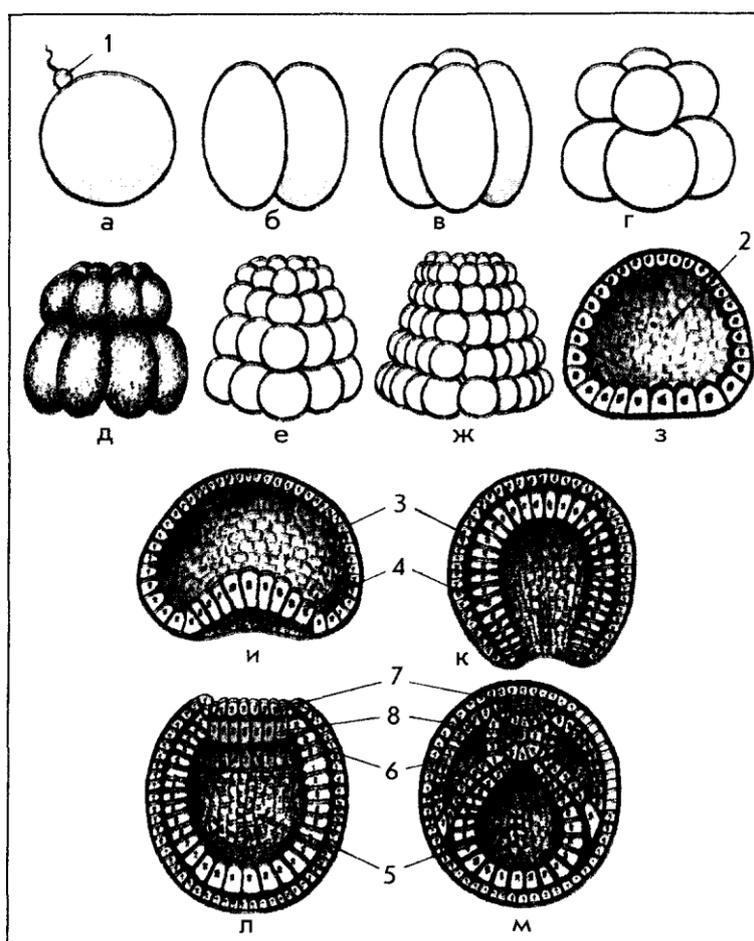


Рисунок 36 — Эмбриональное развитие ланцетника:

а-е — начальная фаза развития оплодотворенного яйца; **ж** — образование бластулы; **з** — бластула в разрезе; **и** — начало образования гастрюлы; **к** — гастрюла; **л** — ранняя нейрула; **м** — нейрула; **1** — сперматозоид; **2** — полость бластулы (бластоцель); **3** — эктодерма; **4** — энтодерма; **5** — полость первичной кишки; **6** — мезодерма; **7** — нервная пластинка; **8** — хорда

После дробления идет процесс *гастрюляции*, который характеризуется

перемещением части клеточного материала с поверхности бластулы внутрь. В результате этих перемещений образуется *гастрола* — чашевидный зародыш, состоящий из двух слоев, или *зародышевых листков*: наружного — *эктодермы* и внутреннего — *энтодермы*. У ланцетника гастрола возникает путем впячивания бластодермы в бластоцель. Внутренняя полость, называемая *первичной кишкой*, связана с внешней средой через отверстие, которое называется *первичным ртом*.

Губки и кишечнополостные заканчивают свое развитие на стадии двух зародышевых листков. У всех остальных животных в процессе гаструляции или после ее завершения из энтодермы образуется еще и третий зародышевый листок — *мезодерма*.

У иглокожих и хордовых животных она формируется в виде парных карманоподобных выпячиваний эпителия первичного кишечника в бластоцель. В итоге от первичной кишки отшнуровываются замкнутые пузырьки, или мешочки, с полостью внутри. Они и представляют собой зачатки мезодермы, а полость внутри пузырьков — *вторичную полость тела*, или *целом*.

Дифференцировка клеток каждого зародышевого листка приводит к образованию тканей и органов, т. е. к *органогенезу*.

Из *эктодермы* у позвоночных животных образуется нервная трубка — зачаток центральной нервной системы, органы чувств, покровный эпителий с его железами и производными структурами (волосы, перья, когти, копыта и т. п.).

Из *энтодермы* формируется кишечник, печень, поджелудочная железа, жабры и их производные — легкие, плавательный пузырь и др., щитовидная железа.

Из *мезодермы* развиваются мышечная, все виды соединительной ткани, кровеносная, выделительная и половая системы.

Одновременно с мезодермой из энтодермы образуется *хорда* — гибкий скелетный тяж, расположенный у эмбрионов всех хордовых на спинной стороне. Впоследствии хорда у всех позвоночных замещается позвоночником, и только у некоторых низших позвоночных ее остатки сохраняются между позвонками даже во взрослом состоянии.

Нервная трубка, хорда и кишечник создают осевой комплекс органов зародыша, который определяет двустороннюю симметрию тела.

Зародыш животных развивается как единый организм, в котором все ткани и органы находятся в тесном взаимодействии, т. е. характер развития одной ткани определяется влиянием на нее другой ткани. Кроме того, на темпы роста и развития зародыша воздействуют внешние условия.

Постэмбриональное развитие — это этап онтогенеза, начинающийся моментом выхода зародыша из яйцевых оболочек или рождением и заканчивающийся смертью организма. Встречается два вида постэмбрионального развития: прямое и непрямое.

При прямом развитии, постэмбриональный онтогенез делят на три пе-

риода: дорепродуктивный, репродуктивный и пострепродуктивный.

Дорепродуктивный период при прямом развитии называют еще периодом роста и формообразования. Он характеризуется продолжением начинающегося еще в эмбриональной жизни органогенеза и увеличения размеров тела. Новорожденные отличаются размерами, а также созреванием ряда органов и пропорциями тела. К началу этого периода все органы достигают той степени дифференцировки, при которой организм может существовать и развиваться вне организма матери или вне яйцевых оболочек. С этого момента начинают функционировать пищеварительный тракт, органы дыхания и органы чувств. Нервная, кровеносная и выделительная системы начинают свою функцию еще у зародыша. В течение дорепродуктивного периода окончательно складываются видовые и индивидуальные особенности организма, и особь достигает характерных размеров.

Позже других органов дифференцируется половой аппарат. Когда заканчивается его формирование, наступает второй период постнатального онтогенеза — **репродуктивный период** или период зрелости, во время которого происходит размножение. Продолжительность второго периода у некоторых видов (поденка, тутовый шелкопряд) длится несколько суток, у других — много лет (млекопитающие, человек).

После репродуктивного периода наступает **пострепродуктивный период** или период старости. Старость — закономерно и неизбежно наступающий заключительный период онтогенеза. Наступление старости связано со старением организма. Индивидуальное развитие живых организмов завершается старением и смертью.

На индивидуальное развитие любого организма оказывают влияние факторы внешней среды (свет, тепло, солевой и газовый состав среды обитания, пищевые ресурсы и т. д.). Среди них различают факторы необходимые для нормального развития и нежелательные или даже вредные. К числу внешних факторов, приносящих огромный вред на любом этапе онтогенеза человека, но особенно опасных в подростковом возрасте, следует отнести употребление алкогольных напитков, наркотических веществ и курение. Алкоголь губительно действует на все системы органов человека, поражая в первую очередь нервную и кровеносную системы, а также легкие, печень, почки. Алкоголь тормозит функциональное созревание нервных клеток, а содержащийся в табачном дыме никотин отравляет нервные клетки и служит причиной возникновения различного рода функциональных расстройств. У лиц, злоупотребляющих алкоголем, гораздо чаще, чем у людей, ведущих трезвый образ жизни, рождаются дети с врожденными уродствами.

Тема 19. Закономерности наследования признаков

Закономерности наследования признаков были открыты Г. Менделем, который разработал *гибридологический метод* (получение гибридов путем скрещивания), изложенный в 1868 г. в работе «Опыты над растительными гибридами».

Мендель положил в основу совершенно новый принцип исследования отдельных пар признаков в потомстве скрещиваемых организмов одного вида, отличающихся по 1, 2, 3 парам контрастных (альтернативных) признаков, который был назван гибридологическим методом. Особенности этого метода заключаются в использовании определенных принципов:

1. Скрещиваемые родительские пары должны быть чистыми линиями (гомозиготными).

2. В каждом поколении необходимо вести учет отдельно по каждой паре альтернативных признаков, без учета других различий между скрещиваемыми организмами.

3. Использование количественного учета гибридных организмов, различающихся по отдельным парам альтернативных признаков в ряду последовательных поколений.

4. Применение индивидуального анализа потомства от каждого гибридного организма.

Мендель предложил обозначить наследственные задатки (гены) буквами латинского алфавита. Гены, от которых зависит развитие альтернативного признака, принято называть *аллеломорфными* или *аллельными*. Аллельные гены расположены в одинаковых локусах гомологичных хромосом. Каждый ген может иметь два состояния — *доминантное* и *рецессивное*. Явление преобладания у потомка первого поколения признака одного из родителей Мендель назвал *доминированием*. Признак, подавляемый у гибрида, получил название *рецессивного*. Доминантный ген принято обозначать большой буквой латинского алфавита (**A**), а рецессивный — малой (**a**). Организмы, имеющие одинаковые аллели одного гена, например, обе доминантные (**AA**) или обе рецессивные (**aa**) называются *гомозиготами*. Организмы, имеющие разные аллели одного гена — одну доминантную, другую рецессивную (**Aa**) называют гетерозиготными, или *гетерозиготами*.

Если же организм имеет только один аллель гена, то тогда говорят, что такой организм *гемизиготный*. При написании схемы скрещивания принято на первом месте ставить женский организм, на втором месте — мужской. Скрещивание обозначают знаком умножения (**x**). Родительские особи записываются в первой строчке и обозначаются буквой «**P**». Гаметы, которые образуют родители, записываются во второй строчке и обозначаются буквой «**G**», а образующееся потомство — в третьей. Его называют гибридами и обозначают буквой «**F**» с цифровым индексом, соответствующим порядковому номеру гибридного поколения.

Скрещивание особей по одному альтернативному признаку называется моногибридным, а по двум — дигибридным.

В одном из опытов Г. Мендель изучал наследование окраски семян гороха при скрещивании растений с желтыми и зелеными горошинами. В первом гибридном поколении от этого скрещивания наблюдалось единообразие особей, причем все потомство имело желтые семена (доминантный признак). Зеленый цвет семян (рецессивный признак) не появился в этом поколении.

Схема скрещивания:

признак	ген	генотип
желтые семена	A	AA, Aa
зеленые семена	a	aa

P: ♀ AA x ♂ aa

G: (A) (a)

F₁: Aa

Явление доминирования одного признака над другим у гибридов первого поколения и единообразие гибридов по этому признаку впоследствии было названо первым законом Г. Менделя (**законом единообразия гибридов 1-го поколения или законом доминирования**): при скрещивании гомозиготных особей, отличающихся друг от друга по одной паре альтернативных признаков, все гибриды первого поколения единообразны как по генотипу, так и по фенотипу.

На основании скрещивания гибридов 1-го поколения Г. Менделем было обнаружено появление признака, которого не было в первом гибридном поколении, — зеленый цвет семян, причем на 3 части потомства с желтыми семенами приходилась 1 часть с зелеными. На основе этого соотношения признаков во втором поколении был сформулирован второй закон — **закон расщепления**: при скрещивании двух гетерозиготных особей (т.е. гибридов), анализируемых по одной альтернативной паре признаков, в потомстве ожидается расщепление по фенотипу в отношении 3:1 (три части с доминантными признаками и одна — с рецессивным) и по генотипу 1:2:1 (одна часть доминантных гомозигот, две части гетерозигот и одна часть рецессивных гомозигот).

Схема скрещивания:

P: ♀ Aa x ♂ Aa

G: (A) (a) (A) (a)

F₂: AA, Aa, Aa, aa
 желтый желтый желтый зеленый

Для объяснения результатов этого закона У. Бэтсон (1902) выдвинул положение, вошедшее в генетику под названием *гипотезы «чистоты гамет»*: *гены в гаметах у гибридов не гибридные, а чистые*.

Причиной не смешивания генов у гетерозигот является нахождение их в разных хромосомах. В результате мейоза при гаметогенезе хромосомы с разными генами попадают в разные гаметы.

Необходимо отметить, что идеального соотношения 3:1 обычно не обнаруживается ни в одном опыте. Например, изучая расщепление по окраске семян, Мендель исследовал 8023 горошины и получил соотношение: 6022 желтых к 2001 зеленым, что очень близко к соотношению 3:1. И только статистический анализ позволил установить, характер расщепления.

Дигибридное скрещивание. Организмы различаются по многим генам и, как следствие, по многим признакам. Чтобы одновременно проанализировать наследование нескольких альтернативных признаков, необходимо изучить наследование каждой пары в отдельности, а затем сопоставить и объединить все эти наблюдения, как и поступил Мендель.

Скрещивание, при котором родительские формы отличаются по двум парам альтернативных признаков (по двум парам аллелей), называется **дигибридным**.

Для дигибридного скрещивания Мендель взял гомозиготные организмы, различающиеся одновременно по двум парам альтернативных признаков: цвету (желтые и зеленые семена) и форме (гладкие и морщинистые семена) горошин.

Схема скрещивания:

признак	ген	генотип
Желтые семена	A	AA, Aa
Зеленые семена	a	Aa
Гладкие семена	B	BB, Bb
Морщинистые семена	b	bb

P: ♀ AABV x ♂ aabb

G: (AB) (ab)

F₁: AaBb
желтые гладкие

В первом поколении у гибридов проявилось правило единообразия.

Затем гибриды первого поколения использовали как родительские формы и получили гибриды второго поколения.

P: ♀ AaBb x ♂ AaBb

G: $\begin{matrix} \text{AB} & \text{Ab} & \text{AB} & \text{Ab} \\ \text{aB} & \text{ab} & \text{aB} & \text{ab} \end{matrix}$

Решетка Пеннета:

гаметы	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

Используя фенотипический радикал $A_ _$, где вместо черточки может быть как доминантный A, так и рецессивный ген a (фенотип особи в обоих случаях будет одинаков), расщепление по фенотипу при дигибридном скрещивании можно представить следующим образом:

9 A_ B_ желтые гладкие

3 A_ bb желтые морщинистые

3 aaB_ зеленые гладкие

1 aabb зеленые морщинистые

При анализе наследования признаков во втором поколении оказалось, что наблюдается независимое (свободное) комбинирование пар признаков, т. е. доминантные и рецессивные формы по каждой паре признаков соотносились как 3:1, что наблюдалось бы при моногибридном скрещивании в соответствии со вторым законом Г. Менделя.

Результаты данного наблюдения в дальнейшем получили название третьего закона Менделя — закона независимого наследования признаков, которое формулируется следующим образом: *при скрещивании гомозиготных особей, отличающихся двумя или более парами альтернативных признаков, во втором поколении отмечается независимое комбинирование по каждой паре признаков, а также появляются комбинации признаков не свойственные родительским особям.*

Расщепление во втором поколении при дигибридном скрещивании обусловлено механизмом мейоза и одинаковой вероятностью встречи гамет при оплодотворении. В результате мейоза при делении диплоидной первичной половой клетки образуются четыре гаплоидные гаметы, которые получают по одной хромосоме из каждой пары гомологичных хромосом, и соответственно по одному гену (аллелю) из каждой пары. При этом, независимый характер комбинирования признаков определяется случайным перераспределением хромосом в ходе мейоза при образовании гамет.

Тема 20. Взаимодействие аллельных генов

При анализе правил Г. Менделя мы исходили из того, что доминантный ген полностью подавляет проявление рецессивного гена.

Тщательный анализ реализации генотипа в фенотип показал, что проявление признаков может определяться взаимодействием аллельных генов: **полным доминированием, неполным доминированием и кодоминированием.**

Доминирование является свойством гена в гетерозиготном состоянии обуславливать развитие признака. Значит ли это, что рецессивная аллель полностью подавлена и абсолютно не функционирует? Оказывается — нет. Рецессивный ген проявляется в гомозиготном состоянии.

Если Г. Мендель учитывал несколько пар признаков, анализируя закономерности их наследования у гороха, то у человека известно уже тысячи разнообразных биологических признаков и свойств, наследование которых подчиняется правилам Менделя. Это такие менделирующие признаки как цвет глаз, волос, форма носа, губ, зубов, подбородка, форма пальцев, ушной раковины и т. д. Многие наследственные заболевания также передаются из поколения в поколение по правилам Менделя: ахондроплазия, альбинизм, глухонмота, куриная слепота, сахарный диабет, фиброз поджелудочной железы, глаукома и др. (таблица 3).

Таблица 3 — Наследование признаков у человека по принципу полного доминирования

Доминантный	Рецессивный
Норма	
карие глаза темный цвет волос монголоидные глаза нос с горбинкой ямочки на щеках веснушки праворукость Rh+	голубые глаза светлый цвет волос европеидные глаза нос прямой отсутствие отсутствие леворукость Rh-
Патологические	
карликовая хондродистрофия полидактилия брахидактилия (короткопалость) нормальное свертывание крови нормальное цветоощущение нормальная пигментация кожи нормальное усвоение фенилаланина гемералопия (ночная слепота)	нормальное развитие скелета норма норма гемофилия дальтонизм альбинизм (отсутствие пигмента) фенилкетонурия норма

Для большинства признаков у животных и человека характерно **промежуточное наследование или неполное доминирование.**

При неполном проявлении гена гибрид не воспроизводит полностью ни одного из родительских признаков. Выражение признака оказывается

промежуточным с большим или меньшим отклонением к доминантному или рецессивному состоянию. Например, если скрестить растения душистого горошка с красными (AA) и белыми (aa) цветками, первое поколение будет иметь розовые (Aa) цветки. Примером неполного доминирования у человека может быть наследование анофтальмии и нормального развития глаз, у гетерозигот глазные яблоки уменьшены.

Гены одной аллели в гетерозиготном состоянии могут проявляться одновременно. Это явление получило название *кодоминирования*. Например: каждый из аллелей кодирует синтез определенного белка, тогда у гетерозигот отмечается синтез обоих белков, что можно выявить биохимически. Этот метод нашел применение в медико-генетических консультациях для выявления гетерозиготных носителей генов, обуславливающих молекулярную болезнь обмена веществ (изоферменты холинэстеразы). Примером также может являться наследование четвертой группы крови с генотипом $I^A I^B$ (таблица 4).

Один и тот же признак, контролируемый тремя и более аллелями, проявляется в нескольких формах. Так ген A может мутировать в состоянии A1, A2, A3 и т. д. Ряд состояний одного и того же гена называют серией множественных аллелей, а само явление — *множественным аллелизмом*.

У человека известна серия аллелей I^0, I^A, I^B , которая определяет полиморфизм по группам крови АВ0 (таблица 4).

Таблица 4 — Наследование групп крови по системе АВ0 у человека

Признак	Ген	Генотип
I (O) группа крови	I^0	$I^0 I^0$
II (A) группа крови	I^A	$I^A I^A \quad I^A I^0$
III (B) группа крови	I^B	$I^B I^B \quad I^B I^0$
IV (AB) группа крови	I^A, I^B	$I^A I^B$

Значительное отклонение от численных отношений фенотипических классов при расщеплении могут возникать вследствие взаимодействия между собой неаллельных генов.

Тема 21. Взаимодействие неаллельных генов

Гены, расположенные в разных парах хромосом или в разных локусах гомологичных хромосом, называются неаллельными. К неаллельному взаимодействию генов относят: эпистаз, комплементарность, полимерию.

Эпистаз — тип взаимодействия неаллельных генов, при котором гены из одной аллельной пары подавляют действие генов из другой аллельной пары.

Ген, подавляющий проявление другого гена, называется *эпистатическим или геном-супрессором*. Ген, проявление которого подавляется, называется *гипостатическим*. Эпистаз принято делить на 2 типа: доминантный и рецессивный.

Доминантный эпистаз — взаимодействие неаллельных генов, при котором доминантный аллель эпистатического гена подавляет действие другого гена. Расщепление при доминантном эпистазе — **13:3** или **12:3:1**.

Пример: наследование окраски шерсти у лошадей.

признак	ген	генотип
серая	$A \gg B, b$	$A_B_ , A_bb$
черная	B	$aaB_$
рыжая	b	$aabb$

P: ♀ $AABB$ x ♂ $aabb$

G: $\begin{matrix} \textcircled{AB} \\ \textcircled{ab} \end{matrix}$

F₁: $AaBb$
серая

P: ♀ $AaBb$ x ♂ $AaBb$

G: $\begin{matrix} \textcircled{AB} & \textcircled{Ab} & \textcircled{aB} & \textcircled{ab} \\ \textcircled{aB} & \textcircled{ab} & \textcircled{aB} & \textcircled{ab} \end{matrix}$

F₂: 9 $A_B_$ серые; 3 A_bb серые; 3 $aaB_$ черные; 1 $aabb$ рыжие.

При этом образуются три фенотипические группы (серые, черные, рыжие) в отношении 12:3:1.

Рецессивный эпистаз — взаимодействие неаллельных генов, при котором рецессивный аллель эпистатического гена в гомозиготном состоянии подавляет действие другого гена. Расщепление при рецессивном эпистазе — **9:3:4**.

Пример: наследование окраски шерсти у мышей.

признак	ген	генотип
агути	A	$A_C_$
черная	a	$aaC_$
белая	$c \gg A, a$	$A_cc, aacc$

P: ♀ $AACC$ x ♂ $aacc$

G: $\begin{matrix} \textcircled{AC} \\ \textcircled{ac} \end{matrix}$

F₁: $AaCc$
серая

P: ♀ $AaCc$ x ♂ $AaCc$

G: $\begin{matrix} \textcircled{AC} & \textcircled{Ac} & \textcircled{aC} & \textcircled{ac} \\ \textcircled{aC} & \textcircled{ac} & \textcircled{aC} & \textcircled{ac} \end{matrix}$

F₂: 9 $A_C_$ агути; 3 $aaC_$ черная; 3 A_cc белая; 1 $aacc$ белая.

При этом образуются три фенотипические группы (агути, белые, черные) в отношении 9:4:3.

Комплементарность — такое взаимодействие неаллельных генов, при котором два доминантных гена при совместном нахождении в генотипе (**A_B_**) обуславливают развитие нового признака по сравнению с действием каждого гена в отдельности (**A_вв** или **aaB_**). Расщепление при комплементарном взаимодействии генов — **9:7, 9:3:4** или **9:3:3:1**.

Примером комплементарного действия генов является развитие слуха у человека. Для нормального слуха в генотипе человека должны присутствовать доминантные гены из разных аллельных пар **D** и **E**.

Пример: наследование глухоты у человека

признак	ген	генотип
глухота	d, e	ddE_, D_ee, ddee
норма	D, E	D_E_

P: ♀ ddEE x ♂ DDee

G $\begin{matrix} \text{dE} \\ \text{De} \end{matrix}$

F₁: DdEe
норма

P: ♀ DdEe x ♂ DdEe

F₂: 9 D_E_ норма; 3 D_ee глухота; 3 ddE_ глухота; 1 ddee глухота.

При этом образуется две фенотипические группы (нормальные и глухие) в отношении 9:7.

Полимерия — один из видов неаллельного взаимодействия генов, при котором на проявление количественного признака оказывает влияние одновременно несколько пар генов с одинаковым фенотипическим проявлением.

Полимерное наследование обеспечивает передачу поколению количественных признаков. Такие признаки нельзя разложить на фенотипические классы и у человека к ним можно отнести: темп роста, вес и длина тела, артериальное давление, степень пигментации кожи и др.

Степень проявления количественных признаков может зависеть от количества доминантных генов в генотипе (чем их больше, тем сильнее выражен признак) или не зависеть от их числа; в связи с этим принято выделять кумулятивную и некумулятивную полимерию.

Кумулятивная полимерия — проявление признака зависит от количества доминантных аллелей в генотипе.

Пример: наследование цвета кожи у человека

$A_1A_1A_2A_2A_3A_3A_4A_4$ — черная кожа

$a_1a_1a_2a_2a_3a_3a_4a_4$ — белая кожа

$A_1a_1A_2a_2A_3a_3A_4a_4$ — мулаты

Некумулятивная полимерия — характер проявления признака не зависит от числа доминантных генов в генотипе.

Пример: наследование оперенности ног у кур.

признак	ген	генотип
оперенные ноги	A, B	A_B_, A_vv, aaB_
голые	a, b	aabb

P: ♀ AABV x ♂ aabb

G: (AB) (ab)

F₁: AaBb
оперенные

P: ♀ AaBb x ♂ AaBb

G: (AB) (Ab) (aB) (ab) (AB) (Ab) (aB) (ab)

F₂: 9 A_B_ оперенные; 3 A_vv оперенные; 3 aaB_ оперенные; 1 aabb голые.

При этом образуется две фенотипические группы в отношении 15:1 (оперенные ноги и голые).

Тема 22. Хромосомная теория наследственности. Сцепленное наследование

Передача наследственной информации связана с хромосомами, в которых линейно, в определенной последовательности находятся гены. Хромосомы являются материальной основой наследственности.

В 1902–1903 гг. американский цитолог У. Сеттон и немецкий цитолог и эмбриолог Т. Бовери независимо друг от друга высказали предположение, что гены расположены в хромосомах. Первые наблюдения над совместным наследованием генов были опубликованы в 1906 г. У. Бетсоном и Р. Пеннетом, которые обнаружили это явление у душистого горошка. Однако объяснено оно было лишь в 1911 г. Т. Морганом, который обосновал в последующие годы **хромосомную теорию наследственности**. Согласно этой теории передача наследственной информации связана с хромосомами, в которых линейно и в определенном порядке расположены гены. Таким образом, именно хромосомы представляют собой материальную основу наследственности.

Гены, расположенные в одной хромосоме, образуют группу сцепления и наследуются вместе. Совместное наследование генов Т. Морган предложил назвать **сцепленным наследованием**.

Наследование сцепленных генов отличается от наследования генов, расположенных в разных парах гомологичных хромосом. Если при незави-

симом комбинировании дигибрид $AaBb$, образует четыре типа гамет AB , Ab , aB , ab в равных количествах, то такой же дигибрид при сцепленном наследовании образует такие же типы гамет, но в разных количествах. Различия в наследовании генов связаны с причинами возникновения комбинаций генов, которыми являются либо независимое расхождение хромосом в анафазе мейоза 1 при расположении генов в разных парах гомологичных хромосом или **кроссинговер** (обмен участками гомологичных хромосом) в профазе I мейоза при расположении генов в одной хромосоме. При этом, чем ближе расположены гены друг к другу в хромосоме, тем реже будет наблюдаться обмен участками гомологичных хромосом в которых они расположены и, соответственно, тем более разительнее будут отличия в наследовании сцепленных генов от наследования генов, расположенных в разных парах гомологичных хромосом.

Биологическое значение кроссинговера чрезвычайно велико, т. к. он создает новые, ранее не существовавшие комбинации генов. Это повышает наследственную изменчивость, которая дает широкие возможности для адаптации организмов в различных условиях среды. Человек специально проводит гибридизацию с целью получения необходимых вариантов комбинаций для использования в селекционной работе.

Один из первых экспериментов Моргана при изучении сцепленного наследования был проведен на дрозофиле. Мушки отличались по двум парам сцепленных признаков (цвет тела и форма крыльев):

признак	ген	генотип
серое тело	A	AA, Aa
черное тело	a	aa
нормальные крылья	B	BB, Bb
короткие крылья	b	bb

$$\begin{array}{l}
 \text{P: } \quad \underline{AB} \quad \underline{ab} \\
 \quad \quad \text{♀ } \underline{AB} \quad \text{♂ } \underline{ab}, \\
 \text{G: } \quad \textcircled{AB} \quad \textcircled{ab}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \underline{AB} \\
 \text{F}_1: \quad ab
 \end{array}$$

Гибриды F_1 серые с нормальными крыльями.

Далее были проведены два типа анализирующих скрещиваний.

I. Дигетерозиготных самцов F_1 скрестили с гомозиготными по рецессивным аллелям самками (анализаторами):

$$\begin{array}{l}
 \text{P: } \quad \underline{ab} \quad \underline{AB} \\
 \quad \quad \text{♀ } ab \quad \times \quad \text{♂ } ab, \\
 \text{G: } \quad \textcircled{ab} \quad \textcircled{AB} \quad \textcircled{ab} \\
 \\
 \text{F}_2: \quad \underline{ab} \quad \underline{ab} \\
 \quad \quad \underline{AB} \quad , \quad ab
 \end{array}$$

В F_2 образуется две фенотипические группы: серые мухи с нормальными крыльями и черные мухи с короткими крыльями в соотношении 1:1. Следовательно, дигетерозигота образует только два типа гамет (ab и AB). У самца наблюдается полное сцепление генов из-за отсутствия кроссинговера.

2. Дигетерозиготную самку скрестили с самцом рецессивным по обоим признакам (черное тело, короткие крылья).

$$\begin{array}{l}
 \text{P: } \quad \underline{AB} \quad \underline{ab} \\
 \quad \quad \text{♀ } ab \quad \times \quad \text{♂ } ab, \\
 \text{G: } \quad \textcircled{AB} \quad \textcircled{ab} \quad \textcircled{ab} \\
 \\
 \text{некроссоверные} \\
 \quad \quad \textcircled{Ab} \quad \textcircled{aB} \\
 \\
 \text{кроссоверные} \\
 \\
 \text{F}_2: \quad \underline{AB} \quad \underline{ab} \quad \underline{Ab} \quad \underline{aB} \\
 \quad \quad ab \quad , \quad ab \quad ab \quad ab \\
 \text{некроссоверные} \quad \quad \text{кроссоверные} \\
 \quad \quad 83 \% \quad \quad \quad 17 \%
 \end{array}$$

Гаметы самки записываются над чертой (хромосомой), а гаметы самца — под чертой.

В F_2 получили четыре фенотипические группы: серые мухи с нормальными крыльями (41,5 %), черные мухи с короткими крыльями (41,5 %), серые мухи с короткими крыльями (8,5 %) и черные мухи с длинными крыльями (8,5 %). Причиной появления мух с новым сочетанием признаков является кроссинговер или обмен участками гомологичных хромосом в профазе I мейоза, поэтому у самки образуется четыре типа гамет (AB , ab — некроссоверные, aB , Ab — кроссоверные). Особи, которые образуются из таких гамет с новыми сочетаниями аллелей, получили название **кроссоверных** или **рекомбинантных**. Таких особей всегда меньше, чем некроссоверных.

Основные положения хромосомной теории наследственности

Экспериментальное доказательство локализации конкретных генов в конкретных хромосомах было получено только в 1910 г. американским генетиком Т. Морганом, который в последующие годы (1911–1926 гг.) обосновал основные положения хромосомной теории наследственности. Их сущность заключается в следующем:

1. Гены находятся в хромосомах. Каждый ген в хромосоме занимает определенный локус. Гены в хромосомах расположены линейно.

2. Каждая хромосома представляет группу сцепленных генов. Число групп сцепления у каждого вида равно числу пар хромосом.

3. Между гомологичными хромосомами происходит обмен аллельными генами — кроссинговер.

4. Расстояние между генами в хромосоме пропорционально проценту кроссинговера между ними. Зная расстояние между генами можно вычислить процентное соотношение генотипов у потомства.

Генетическая карта хромосом

Т. Морган и его сотрудники Бриджес, Стертевант и Меллер экспериментально показали, что знание явлений сцепления и кроссинговера позволяет установить группы сцепления генов, а также построить генетические карты хромосом.

Каждую группу сцепления составляют две гомологичные хромосомы, в которых локализованы гены. У человека 23 группы сцепления, у дрозофилы — 4, у гороха — 7.

Расстояние между генами характеризует его силу сцепления и выражается в процентах кроссинговера или **морганидах**. Максимальное расстояние между генами не превышает 50 % кроссинговера.

Морганида — генетическое расстояние между генами, на котором вероятность кроссинговера равна 1 %.

Расстояние между генами можно определить по формуле:

$$X = \frac{a + b}{n} \cdot 100\%$$

где X — расстояние между генами, $a+b$ — сумма кроссоверных организмов, n — общее количество организмов.

Генетическая карта хромосомы — это схема, на которой показан порядок расположения генов и расстояние между ними. О расстоянии между сцепленными генами судят по частоте кроссинговера между ними.

Генетические карты составлены для некоторых насекомых (дрозофилы, комара, таракана), грибов (дрожжей, аспергилла), многих одноклеточных, бактерий и вирусов.

Генетические карты человека используются в медицине. Знание локализации патологического гена в определенной хромосоме используется при диагностике ряда тяжелых наследственных заболеваний человека и способствует развитию нового направления в генетике человека — генной терапии.

Тема 23. Генетика пола. Сцепленное с полом наследование

Пол — это совокупность генетических и морфологических особенностей, обеспечивающих воспроизведение потомства и передачу наследственной информации.

Все половые признаки условно делят на *первичные* и *вторичные*.

Первичные половые признаки обеспечивают образование гамет и оплодотворение. К ним относятся гонады (яичники и семенники), в которых образуются половые клетки, а также половые пути, половые органы.

Вторичные половые признаки — это совокупность морфологических и физиологических признаков и свойств, определяющих фенотипические различия между особями разных полов: тембр голоса, особенности формирования скелета, тип волосяного покрова, млечные железы, брачная окраска у животных и т. д.

Теории определения пола

Хромосомная теория пола (К. Корренс, 1907 г.) заключается в том, что пол определяется сочетанием половых хромосом при оплодотворении (таблица 5).

При исследовании кариотипов многих животных было установлено, что у женского организма каждая хромосома имеет парную (гомологичную), а у мужского — две непарные (X и Y). Их назвали **половыми** или **гетерохромосомами**.

Гомогаметный пол — пол, имеющий одинаковые половые хромосомы и дающий гаметы одного типа.

Гетерогаметный пол — пол, имеющий разные половые хромосомы и дающий гаметы двух типов.

Таблица 5 — Хромосомное определение пола

Типы хромосомного определения пола	Сочетание половых хромосом		Типы гамет	
	♂	♀	♂	♀
Гетерогаметность мужского пола				
Прямокрылые насекомые (клопы Protenor, жуки, пауки, кузнечики)	X0	XX	X, 0	X
Дрозофила, млекопитающие, в том числе человек	XY	XX	X,Y	X
Гетерогаметность женского пола				
Птицы, рыбы, бабочки, шелкопряд, рептилии, земноводные	ZZ	ZW	Z	Z,W
Моль и другие беспозвоночные	ZZ	Z0	Z	Z, 0

Балансовая теория пола (К. Бриджес, 1922 г.) заключается в том, что пол определяется не только половыми хромосомами, а отношением (балансом) числа X-хромосом к набору аутосом.

Гены, определяющие признаки женского организма, сосредоточены в X-хромосомах, мужского — в аутосомах (A).

В норме самки плодовой мушки дрозофилы имеют баланс $2X : 2A = 1$, а самцы — $1X : 2A = 0,5$.

Нормальный баланс половых хромосом и аутосом у женщин — $XX : 44A$. ($2X : 2A$), а у мужчин — $XY : 44A$. ($1X : 2A$).

Изменение отношения половых хромосом и аутосом ведет к нарушению формирования признаков пола и возникновению патологий: $XO : 44A$ — синдром Шерешевского — Тернера; $XXX : 44A$ — синдром трисомии X; $XXY : 44A$ — синдром Клайнфельтера; $XYY : 44A$ — синдром добавочной Y-хромосомы.

Наследование признаков, сцепленных с полом

Признаки, контролируемые генами, расположенными в половых хромосомах, называются *сцепленными с полом*. Их можно разделить на 3 группы:

1. **Признаки, частично сцепленные с полом.** Гены, отвечающие за развитие таких признаков, расположены в парных участках X и Y-хромосом. Эти гены контролируют развитие некоторых заболеваний: судорожные расстройства, пигментная ксеродерма, общая цветовая слепота.

2. **Признаки, полностью сцепленные с полом.** Гены, отвечающие за развитие таких признаков, расположены в участке X-хромосомы, для которого нет гомологичного в Y-хромосоме. Эти гены также отвечают за развитие некоторых заболеваний (атрофия зрительного нерва, мышечная дистрофия Дюшена, дальтонизм, гемофилия).

Поскольку у гетерогаметного пола (XY) X-хромосома представлена в единственном числе, то признаки, определяемые генами негомологичного участка X-хромосомы будут проявляться даже в том случае, если они рецессивны.

Пример: наследование гемофилии у человека.

признак	ген	генотип
гемофилия	X^h	X^hX^h ; X^hY
норма	X^H	X^HX^H ; X^HX^h ; X^HY

P: ♀ X^HX^h x ♂ X^HY

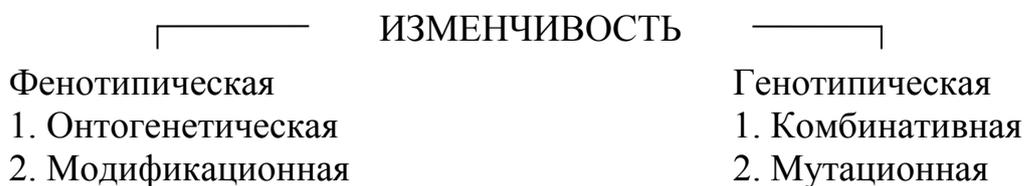
G: $\begin{matrix} \textcircled{X^H} & \textcircled{X^h} \\ \textcircled{X^H} & \textcircled{Y} \end{matrix}$

F₁: X^HX^H ; X^HX^h ; X^HY ; X^hY
норма норма норма гемофилия

3. **Голандрические признаки.** Гены, определяющие такие признаки, расположены в участке Y-хромосомы, для которого нет гомологичного в X-хромосоме. Они контролируют синдактилию, гипертрихоз ушной раковины, ихтиоз.

Тема 24. Изменчивость, ее типы и виды

Изменчивость — это свойство живого изменяться, выражающееся в способности приобретать новые признаки или утрачивать прежние. Причинами изменчивости являются разнообразие генотипов, условия среды, которые определяют разнообразие в проявлении признаков у организмов с одинаковыми генотипами. Выделяют следующие типы и формы изменчивости:



Фенотипическая (ненаследственная) изменчивость связана с изменением фенотипа без изменения генотипа. Формы изменчивости: модификационная и онтогенетическая.

Модификационная изменчивость — изменения фенотипа под действием факторов внешней среды, которые происходят без изменения генотипа.

Пример: Кролики гималайской породы имеют своеобразную пеструю окраску меха: основной фон шерстного покрова — белый; мордочки, кончики ушей и лап, а также хвосты — черные. Размер черных пятен зависит от температуры содержания гималайских кроликов. При обычных «комнатных» температурах зверьки имеют такую окраску, как сказано выше, при повышенных температурах размер черных пятен уменьшается, а при температурах выше 30 °С на всем теле формируется белая шерсть; при пониженных температурах размер черных пятен увеличивается, а при температурах близких к 0 °С — гималайские кролики приобретают чисто черную окраску.

Эти наблюдения объясняют, почему гималайские кролики рождаются белыми без участков черной шерсти: их эмбриональное развитие происходит при высокой температуре.

Модификации — фенотипические различия у генетически тождественных особей, которые возникающие под воздействием факторов внешней среды и сохраняются на протяжении жизни данного организма.

Свойства модификаций:

- Носят обратимый характер.
- Носят адекватный характер.
- Носят приспособительный (адаптивный) характер.
- Носят массовый характер.
- Не наследуются. Наследуется лишь норма реакции.
- Возникают постепенно и имеют переходные формы.

Примерами модификации у человека могут служить усиление пигментации кожи — загар, под влиянием ультрафиолетовых лучей, развитие

костно-мышечной системы в результате физических нагрузок, в горных условиях вырабатывается разное количество эритроцитов.

Все признаки и свойства организма наследственно определены, однако организмы наследуют не сами признаки и свойства, а лишь возможность их развития. Для проявления развития признака необходимы определенные условия внешней среды.

Степень выражения признака, ограниченная действием генотипа, называется **нормой реакции**.

Для разных признаков и свойств организма границы, определяемые нормой реакции, неодинаковы. Наибольшей пластичностью и изменчивостью характеризуются количественные признаки. Качественные признаки мало изменяются при изменении условий среды.

Онтогенетическая изменчивость — изменения признаков у отдельных организмов или клеток, которые возникают в ходе их индивидуального развития (онтогенеза). Основной причиной онтогенетической изменчивости является разная активность генов в разные возрастные периоды. Порядок «включения» и «выключения» определенных генов наследуется при половом размножении организмов. Примером онтогенетической изменчивости у человека является появление молочных зубов и смена их на постоянные, поседение волос и повышенная ломкость костей в старости. Примером у животных является развитие с превращением: яйцо — личинка — куколка — взрослая особь.

Генотипическая (наследственная) изменчивость связана с изменениями генотипа. Формы изменчивости: комбинативная и мутационная.

При **комбинативной изменчивости** сами гены не изменяются, меняется их сочетание и характер взаимодействий, а, следовательно, имеющиеся признаки комбинируются в разных сочетаниях, образуя большое разнообразие фенотипов.

Комбинативная изменчивость обусловлена:

- кроссинговером;
- независимым расхождением гомологичных хромосом в мейозе;
- свободным сочетанием гамет при оплодотворении.

При **мутационной** изменчивости происходят изменения (мутации) генетического материала и эти изменения передаются по наследству.

Мутации — это внезапные скачкообразные и ненаправленные изменения генотипа. При этом характерно появление у живых организмов качественно новых наследственных признаков и свойств, которых ранее в природе не существовало.

Основные **положения мутационной теории** (таблица 6) разработаны Г. Де Фризом в 1901–1903 гг. и сводятся к следующему:

- мутации возникают внезапно;
- новые формы устойчивы;

- мутации — качественные изменения;
- мутации проявляются по-разному и могут быть как полезными, так и вредными;
- сходные мутации могут возникать повторно.

Таблица 6 — Классификация мутаций

№ п/п	Классифицирующий фактор	Название мутаций
I	По мутировавшим клеткам	1. Генеративные 2. Соматические
II	По характеру изменения генотипа	1. Генные (точковые) 2. Хромосомные перестройки (дефишенсы, делеции, дупликации и инверсии) 3. Межхромосомные перестройки (транслокации) 4. Геномные мутации (полиплоидия, анеуплоидия) 5. Цитоплазматические мутации
III	По адаптивному значению	1. Полезные 2. Вредные (полулетальные, летальные) 3. Нейтральные
IV	По причине, вызвавшей мутацию	1. Спонтанные 2. Индуцированные

Генеративные мутации возникают в половых клетках родителей, проявляются у потомков, передаются по наследству при половом размножении (гемофилия, дальтонизм).

Соматические мутации возникают в соматических клетках, передаются по наследству только при вегетативном размножении и проявляются у самой особи (разный цвет глаз у одного человека, белая прядь волос).

Генные мутации связаны с изменением порядка нуклеотидов в гене, при этом изменяется структура гена. Выделяют следующие генные мутации:

- **замена** пары нуклеотидов на другую пару, при этом общее число нуклеотидов не меняется.
- **делеция** — выпадение пары или группы нуклеотидов;
- **вставка** пары или нескольких пар нуклеотидов;
- **дупликация** — повтор нуклеотидной пары;

Дупликации, вставки и делеции могут приводить к изменению рамки считывания генетического кода. В результате в полипептидную цепь будут соединяться совершенно другие аминокислоты и, таким образом, будет синтезироваться мутационный белок, совершенно не похожий на первоначальный. Также могут образовываться и **терминирующие кодоны** УАА, УАГ или УГА, прекращающие синтез белка.

Выпадение целого триплета приводит к менее тяжелым генетическим последствиям, чем выпадение одного или двух нуклеотидов (рамка считывания не сдвинулась).

Генные мутации приводят к изменению строения молекул белков и к появлению новых признаков и свойств организма. Например, такие заболевания человека, как альбинизм, гемофилия, фенилкетонурия обусловлены генными мутациями.

Генные мутации происходят под влиянием мутагенных факторов (биологических, физических, химических) или спонтанно (случайно).

Хромосомные мутации (хромосомные перестройки, абберации) — изменения положения участков хромосом, которые приводят к изменению размеров и формы хромосом. Они бывают внутривхромосомные и межхромосомные.

Внутрихромосомные мутации:

- **Дефишенси** — потеря концевых участков хромосомы.
- **Делеции** — утрата хромосомой какого-либо участка в средней ее части.
- **Дупликации** (удвоение) — связаны с включением лишнего, дублирующего участка хромосомы.
- **Инверсии** (перевороты) — разрыв хромосомы, переворот оторвавшегося участка на 180° и встраивание его на прежнее место.

Межхромосомные мутации:

- **Транслокация** (переносы) — обмен участками между негомологичными хромосомами (в мейозе).

Геномные мутации — мутации, связанные с изменением числа хромосом. Они могут быть вызваны нерасхождением хромосом при мейозе, что приводит к появлению у гамет нового набора хромосом.

К геномным мутациям относят полиплоидию и анеуплоидию.

Полиплоидия — мутация, связанная с увеличением числа хромосом, кратного гаплоидному набору. Образуются триплоиды ($3n$), тетраплоиды ($4n$), гексаплоиды ($6n$), октаплоиды ($8n$) и т.д.

Чаще всего полиплоиды образуются при нарушении расхождения хромосом к полюсам клетки в митозе. Это может быть вызвано действием физических (высокая и низкая температура, радиоактивное излучение) и химических факторов (колхицин, винбластин, аценафтен, хлороформ, эфир, хлоргидрит).

Для многих растений известны так называемые полиплоидные ряды. Они включают формы от 2 до $10n$ и более. Например, у пшеницы наборы хромосом 14 , 28 и 42 представляют полиплоидный ряд $2n$, $4n$, $6n$.

Полиплоидия приводит к изменению признаков организма и поэтому является важным источником изменчивости в эволюции и селекции, особенно у растений. Около трети видов растений, произрастающих на нашей планете — полиплоиды. Почти все культурные растения также полиплоиды. У них, в отличие от их диких сородичей, более крупные цветки, плоды и семена, в запасующих органах (стебель, клубни) накапливается больше

питательных веществ. Полиплоиды легче приспосабливаются к неблагоприятным условиям жизни, легче переносят низкие температуры и засуху.

Анеуплодия или **гетероплодия**, — это увеличение или уменьшение числа хромосом, некратное гаплоидному.

Анеуплоиды возникают при нарушении расхождения отдельных хромосом. В результате нерасхождения хромосом при гаметогенезе могут возникать половые клетки с лишними хромосомами, и тогда при последующем слиянии с нормальными гаплоидными гаметами они образуют зиготу $2n+1$ (трисомик) по определенной хромосоме. Если в гамете оказалось меньше на одну хромосому, то последующее оплодотворение приводит к образованию зиготы $2n-1$ (моносомик) по какой-нибудь из хромосом. Кроме того, встречаются формы $2n-2$, или нуллисомики, т. к. отсутствует пара гомологичных хромосом, и $2n+x$, или полисомик.

Анеуплоиды встречаются у растений, животных, и у человека. Анеуплоидные растения обладают низкой жизнеспособностью и плодовитостью. Случаи анеуплоидии у человека вызывают хромосомные болезни (синдром Дауна, синдром Шерешевского—Тернера, синдром Клайнфельтера).

Мутагенные факторы

Мутагены (лат. «*мутацио*» — изменение и греч. «*генос*» — рождение) — факторы внешней и внутренней среды, способные вызывать мутации.

Их делят на три группы:

- химические (формалин, иприт, колхицин);
- физические (ионизирующее излучение, ультрафиолетовые лучи);
- биологические (вирусы, продукты жизнедеятельности грибов и бактерий).

Закон гомологических рядов

Закон гомологических рядов был сформулирован русским ученым Н. И. Вавиловым в 1920 г.

Сущность закона состоит в том, что *виды и роды генетически близкие, связанные друг с другом единством происхождения, характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости.*

Согласно закону наличие ряда признаков у одного вида предполагает наличие таких же признаков и у другого родственного вида. Так, отсутствие ядовитых растений у подавляющего большинства представителей семейства бобовых привело ученого к мысли о том, что у ядовитого люпина имеются в природе неядовитые формы. В результате поисков такой люпин был найден.

Медицинская наука в качестве моделей для изучения болезней человека получила возможность использовать животных с гомологичными заболеваниями: сахарный диабет у крыс; врожденная глухота у мышей, собак, морских свинок; катаракта глаз у мышей, крыс, собак, лошадей и ряд других дефектов.

Тема 25. Методы генетики человека

Генетика человека изучает закономерности наследования нормальных и патологических признаков и зависимость их проявления от генотипа и факторов внешней среды.

Изучение генетики человека связано с рядом особенностей и объективных трудностей:

- сложный кариотип и большое количество генов в генотипе (около 30 000);
- позднее половое созревание и редкая смена поколений: период деторождения у человека — 18–35 лет: врач-генетик за свою жизнь может наблюдать не более 3 поколений;
- малое количество потомков – в большинстве семей рождается только 1–2 ребенка;
- невозможность применения гибринологического метода: врач не имеет права вмешиваться в формирование брачных пар;
- невозможность создания одинаковых условий жизни.

Несмотря на перечисленные сложности, генетика человека изучена сегодня лучше, чем генетика многих других организмов. Этому способствовали социальный характер человека, растущие потребности медицины и разнообразие современных методов исследования. В современной генетике человека используются как классические, так и новейшие методы: генеалогический, близнецовый, цитогенетический, популяционно-статистический, дерматоглифический, биохимический и молекулярно-генетический.

Генеалогический метод заключается в сборе сведений о наличии признаков в отдельных семьях на протяжении нескольких поколений. Составляется родословная семьи. Сбор сведений начинается от пробанда. **Пробанд** — лицо, родословную которого необходимо составить. Братья и сестры пробанда называются **сибсы**. Для построения родословной применяются специальные символы (рисунок 37).

Метод позволяет установить:

- тип наследования;
- генотипы родителей;
- прогноз вероятности проявления изучаемого признака.

Близнецовый метод основан на изучении монозиготных и дизиготных близнецов. Этот метод позволяет определить степень влияния среды и наследственности в проявлении признаков.

Монозиготные или однояйцевые близнецы развиваются из одной яйцеклетки, оплодотворенной одним сперматозоидом. Они всегда одного пола и похожи друг на друга, так как имеют один и тот же генотип. У них одинаковая группа крови, одинаковые отпечатки пальцев и почерк. Доля однояйцевых близнецов у человека составляет 35–38 % от общего их числа.

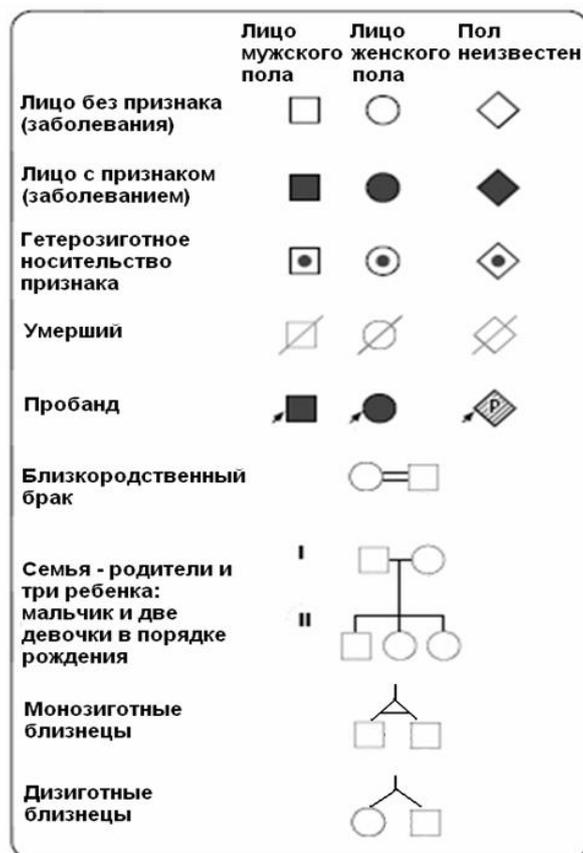


Рисунок 37 — Стандартные символы, используемые при построении родословной

Дизиготные или разнояйцевые близнецы развиваются из двух разных яйцеклеток, оплодотворенных разными сперматозоидами. Такие близнецы могут быть как однополыми, так и разнополыми.

Цитогенетический метод основан на микроскопическом исследовании в клетке метафазных хромосом, анализе кариотипа человека в норме и патологии.

Метод позволяет установить хромосомные болезни человека, связанные с хромосомными и геномными мутациями (синдром Дауна, синдром Шерешевского—Тернера, синдром кошачьего крика и т. д.).

Биохимические методы используются для диагностики болезней обмена веществ при помощи исследования биологических жидкостей (крови, мочи, амниотической жидкости). Причиной этих заболеваний являются генные мутации. С помощью биохимических методов обнаружено около 500 молекулярных болезней: фенилкетонурия, сахарный диабет, альбинизм, гемофилия, дальтонизм, рахит и т. д.

Популяционно-статистический метод основан на изучении частот генов и генотипов в человеческих популяциях.

Основная закономерность, позволяющая исследовать генетическую структуру идеальных популяций, была установлена в 1908 г. английским математиком Г. Харди и немецким врачом В. Вайнбергом.

Закон Харди—Вайнберга: в панмиксной, большой по численности популяции, на которую не оказывают влияния элементарные факторы эволюции, соотношение частот генов и генотипов — величина постоянная из поколения в поколение. Это выражается следующими формулами и используется в медицине для определения количества гетерозиготных носителей патологического гена:

$$p + q = 1,$$

где p — частота доминантного гена (A), q — рецессивного (a).

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1,$$

где p^2 — частота встречаемости гомозигот по доминантному признаку (AA), $2pq$ — частота встречаемости гетерозигот (Aa), q^2 — частота встречаемости гомозигот по рецессивному признаку (aa).

Метод дерматоглифики. Дерматоглифика — раздел генетики, который изучает рельеф кожи на пальцах, ладонях и подошвах стоп. На этих частях тела имеются эпидермальные выступы — гребни, которые образуют сложные узоры. Рисунки кожных узоров строго индивидуальны и генетически обусловлены. Закладка узоров формируется в период внутриутробного развития.

Метод используется для изучения индивидуальной изменчивости и диагностики некоторых наследственных заболеваний.

Метод включает три раздела:

- 1) дактилоскопия изучает узоры на подушечках пальцев;
- 2) пальмоскопия изучает рисунок на ладонях;
- 3) плантоскопию изучает дерматоглифику стопы.

Молекулярно-генетические методы позволяют анализировать последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК, находить и изолировать отдельные гены или их фрагменты, обнаруживать патологические гены в геноме.

Тема 26. Наследственные болезни человека

Изменения в наследственном материале, как правило, приводят к возникновению наследственных заболеваний. Эти изменения могут касаться структуры ДНК (генные мутации), структуры хромосом (хромосомные мутации) или количества хромосом (геномные мутации). К настоящему времени описано более 5500 наследственных болезней. В зависимости от уровня организации генетического материала, на котором произошло изменение, у человека различают генные и хромосомные болезни.

Наследственная патология проявляется в эмбриональном, постэмбриональном периоде, в зрелом и даже пожилом возрасте.

Необходимо различать понятия врожденные и наследственные заболевания. Иногда они совпадают, если наследственное заболевание бывает врожденным, однако в ряде случаев такого совпадения нет. Термин врожденное заболевание говорит лишь о времени проявления заболевания, а не

о его причинах, которые могут быть как наследственными, так и нет. Например, пороки развития лицевого черепа (расщелины губы и неба), скелета рук (полидактилия, синдактилия), некоторые пороки сердца и внутренних органов, могут возникать как в случае мутации генов, так и в результате влияния вредных факторов среды в критические периоды развития органов. К таким факторам относятся гипоксия плода, авитаминозы, вирусные или паразитарные заболевания матери на ранних стадиях беременности (краснуха, токсоплазмоз). Такие копии наследственных пороков называют фенкопиями, и они не наследуются.

Генные болезни. Общая частота генных болезней в популяциях человека составляет 2–4 %. Описано и изучено более 3 тыс. наследственных болезней, обусловленных генными мутациями.

Различают моногенные болезни, при которых генетическое нарушение связано с мутацией в единичном локусе хромосомы, и полигенные — обусловленные совокупным действием мутаций в нескольких локусах хромосом. В последнем случае обычным является предрасположенность к заболеванию, сама болезнь является результатом взаимодействия генетических факторов и среды.

Генные болезни обусловлены двумя видами изменений белковых продуктов. Первая группа болезней связана с качественным изменением белковых молекул, т. е. с наличием у больных аномальных белков (например, аномальные гемоглобины), что обусловлено мутациями структурных генов. Другая группа характеризуется количественными изменениями содержания белка в клетке, что связано с мутациями функциональных генов. Вещества, накапливающиеся в результате изменения активности ферментов, либо сами оказываются токсическими, либо способствуют их образованию, что приводит к нарушению обмена веществ организма. Нарушения могут затрагивать аминокислотный, липидный, углеводный, стероидный обмен, обмен металлов и др.

Примером генной болезни, связанной с нарушением аминокислотного обмена, является *фенилкетонурия*. Данное аутосомно-рецессивное заболевание в РБ встречается с частотой 1:6000. Оно обусловлено наследственной недостаточностью фермента фенилаланингидроксилазы, превращающей фенилаланин (ФА) в тирозин. В случае отсутствия активности фермента, ФА не превращается в тирозин, а накапливается в сыворотке крови в больших количествах в виде фенилпировиноградной кислоты (ФПВК), которая выделяется с мочой и потом, имеющими характерный «мышинный» запах. ФПВК является нейротропным ядом, в результате у больных детей развивается повышенная возбудимость и тонус мышц, судорожные припадки, впоследствии наблюдаются нарушения высшей нервной деятельности, умственная отсталость, микроцефалия. Заболевание проявляется после рождения. Эффективным методом лечения является соблюдение диеты (диетотерапия) — кормление ребенка пищей с низким содержанием фени-

лаланина. Лечение необходимо начинать с первых недель жизни и постоянно, в течение 7–10 лет, следить за содержанием ФА в крови. Мозг взрослого человека устойчив к высоким концентрациям ФПВК.

Генные болезни свертывающей системы крови представлены гемофилиями А, В, С.

Гемофилия А — сцепленное с полом рецессивное заболевание. Обусловлено дефектом фактора 8 свертывания крови (антигемофильного глобулина). Ген расположен в длинном плече X-хромосомы. Клинически проявляется на 2–3 году жизни. Для него характерны множественные гематомы. Преобладают кровоизлияния в крупные суставы конечностей, подкожные и внутримышечные гематомы кровотечения при травмах, наличие крови в моче. Болеют лица мужского пола.

Гемофилия В — сцепленное с полом рецессивное заболевание. Обусловлено дефектом фактора 9 (плазменного компонента тромбопластина). Болеют лица мужского пола. Клинические проявления также как при гемофилии А. Встречается в 10 раз реже, чем первая.

Гемофилия С — аутосомно-доминантное, обусловленное резким изменением антигемофильного глобулина (фактора 8) и снижением активности фактора, необходимого для сохранения целостности стенок сосудов. Наблюдается умеренная склонность к кровотечениям.

Хромосомными болезнями называют комплексы множественных врожденных пороков развития, вызываемых мутациями, связанными с изменением *числа* или *структуры* хромосом (хромосомными абберациями).

В настоящее время описано около 700 таких заболеваний. С хромосомными болезнями рождаются 0,7 % всех младенцев. Отклонения числа половых хромосом и аутосом связаны с процессом нарушения мейоза. Большинство аномалий несовместимы с жизнью. Окончательный диагноз хромосомных болезней устанавливается цитогенетическим методом.

К синдромам с числовыми аномалиями половых хромосом относятся: синдром Шерешевского—Тернера, синдром полисомии по X-хромосоме, синдром Клайнфельтера, синдром Дауна.

Синдром Шерешевского—Тернера характерен только для женщин, у них отсутствует одна X-хромосома (моносомия по X-хромосоме, кариотип — 44+XO). Частота встречаемости 1:3000 новорожденных девочек. Для больных, страдающих этим заболеванием, характерен низкий рост (в среднем 135 см), короткая шея с боковыми кожными складками, укорочение 4–5-го пальцев рук, отсутствие или слабое развитие вторичных половых признаков, бесплодие. Нередко отмечается косоглазие, катаракта, дефекты слуха, аномалии мочевой системы.

Синдром полисомии по X-хромосоме у женщин включает трисомию (кариотип 44+XXX), тетрасомию (44+XXXX) и пентосомию (44+XXXXX). Трисомия встречается с частотой 1:1000 новорожденных девочек. Проявления достаточно разнообразны: отмечается незначительное снижение интел-

лекта, возможно развитие психозов и шизофрении, плодовитость обычно в норме. При тетрасомии и пентосомии повышается вероятность умственной отсталости, отмечаются соматические аномалии, недоразвитие гениталий.

Синдром Клайнфельтера наблюдается с частотой 2:1000 новорожденных мальчиков. Больные имеют 1 или более лишних X-хромосом (кариотип — $44+XXY$, $44+XXX$, $44+XXXX$,). Генетические аномалии проявляются в период полового созревания и выражаются в недоразвитии семенников и вторичных половых признаков. Для мужчин с данным синдромом характерен высокий рост, евнухоидный тип телосложения (узкие плечи, широкий таз), увеличение грудных желез, слабый рост волос на лице. У большинства нарушен сперматогенез, и они бесплодны.

Среди аутосомных трисомий наиболее распространенным является **синдром Дауна**, причиной которого является трисомия по 21-й хромосоме. Частота заболевания составляет в среднем 1:750 новорожденных.

Для больных характерны низкий рост, круглое уплощенное лицо, монголоидный разрез глаз, утолщенный язык, выступающий изо рта, недоразвитая нижняя челюсть, дефекты сердечно-сосудистой системы и органов пищеварения. Характерна умственная отсталость. Средняя продолжительность жизни больных — 25–36 лет.

Наиболее эффективным подходом к профилактике наследственных болезней является медико-генетическое консультирование. Медико-генетическое консультирование — раздел профилактической медицины, главной целью которой является предупреждение рождения детей с генетически обусловленными болезнями и врожденными пороками развития. Впервые такая консультация была организована в конце 20-х гг. XX в. крупнейшим русским генетиком и невропатологом С. Н. Давыденковым при институте нервно-психиатрической профилактики в Москве.

Суть консультирования заключается в следующем:

- 1) определение прогноза рождения ребенка с наследственной болезнью;
- 2) объяснение вероятности этого события консультирующимся;
- 3) помощь семье в принятии решения о деторождении.

Обычно в консультацию обращаются семьи, где у детей имеются наследственные заболевания и есть риск наследственной патологии у будущего потомства. Появление таких признаков предполагается в связи с наличием заболеваний у родственников, кровнородственных браков, возраста родителей старше 35–40 лет, облучение и другие причины.

Врач-генетик способствует постановке диагноза, используя специальные генетические методы. Применение комплекса диагностических методов позволяет рассчитать риск рождения ребенка с наследственной аномалией, установить на ранних этапах развития причины заболевания и применить соответствующие методы лечения.

Тема 27. Многообразие органического мира. Вирусы. Прокариоты. Протисты

Благодаря эволюции современный органический мир многообразен и уникален. Ученые предполагают, что сегодня на нашей планете обитает свыше 10 млн видов живых организмов. Поэтому очень важной является задача классифицировать известные виды по группам в определенной последовательности и системе. Это в итоге позволит установить для каждого организма свое место в мире живой природы.

Основные принципы систематики огромного разнообразия живых организмов были заложены К. Линнеем, который ввел в 1753 г. бинарную номенклатуру вида (способ обозначения видов, состоящего из двух названий: имени рода и видового эпитета. Например: *Ласточка береговая*). Категория вида была принята им в качестве основы классификации. Сходные виды объединялись в роды, роды — в отряды, отряды — в классы, которые являлись высшей категорией. Таким образом, в основу классификации был положен принцип иерархичности (т. е. соподчиненности) таксонов. С развитием науки в эту систему был введен ряд категорий: семейство, подкласс и др., а высшим таксоном стал тип. Принципы систематики, заложенные Линнеем, остались неизменными до наших дней.

В настоящее время классификация организмов основана на выделении определенных, подчиненных друг другу систематических (*таксономических*) категорий. Таксономические категории — это обозначения групп организмов, отличающихся степенью родства.

Таксономические категории (в порядке уменьшения подчиненности):

- вид;
- род;
- семейство;
- отряд (порядок — для растений);
- класс;
- тип (отдел — для растений);
- царство;
- надцарство.

Также существуют промежуточные категории — подцарство, подтип, надкласс, подкласс. В пределах вида различают подвиды, разновидности, формы.

В настоящее время выделяют два надцарства (Прокариоты и Эукариоты) и пять царств живых организмов (Бактерии, Протисты, Грибы, Растения и Животные):

• <u>Надцарство:</u>	<u>Прокариоты</u>	<u>Эукариоты</u>
• Царство:	Бактерии	Протисты Грибы Растения, Животные

В эту систему организмов не входят вирусы, представляющие собой *неклеточные* формы жизни.

Вирусы в отличие от всех других организмов не имеют клеточного строения. Они способны жить и размножаться исключительно в клетках других организмов и за их пределами жизнедеятельности не проявляют. Таким образом, вирусы можно рассматривать как не клеточную форму жизни. Вирусы были открыты русским ученым Д. И. Ивановским в 1892 г. при изучении причин мозаичной болезни листьев табака. Поэтому первый известный вирус был назван вирусом табачной мозаики.

Находясь в клетке-хозяине, вирус представляет собой молекулу нуклеиновой кислоты (ДНК или РНК). Исходя из этого вирусы делят на ДНК-содержащие и РНК-содержащие. В свободном состоянии полностью сформированная вирусная частица, способная инфицировать клетки-хозяина, находится в форме *вириона*. Вирион, кроме нуклеиновой кислоты, имеет защитную белковую оболочку (*капсид*). У некоторых вирусов, таких как вирусы герпеса или гриппа, присутствует еще и дополнительная липопротеидная оболочка (*суперкапсид*). Суперкапсид формируется из цитоплазматической мембраны клетки-хозяина. Размеры вирусов колеблются от 20 до 500 нм. Большинство вирусов имеет кристаллическую форму.

Важным условием для проникновения вирусной частицы в клетку является наличие на поверхности клетки специфического белка-рецептора. Этот белок-рецептор обеспечивает присоединение вируса к клеточной мембране. Участок мембраны, к которому присоединился вирус, затем погружается в цитоплазму клетки и генетический материал вируса проникает внутрь клетки-хозяина.

Внутри клетки вирус синтезирует собственные белки и нуклеиновые кислоты за счет ее ресурсов. У ДНК-содержащих вирусов одним из первых синтезируется фермент РНК-полимераза, которая строит на нити ДНК вируса и-РНК. Данная и-РНК попадает на рибосомы клетки-хозяина, где и протекает биосинтез других белков вирусной частицы.

На следующем этапе в цитоплазме клетки-хозяина происходит объединение вновь синтезированных белков и нуклеиновой кислоты вируса. При этом образуются новые вирусные частицы — *вирионы*. Они разрывают цитоплазматическую мембрану, попадают в межклеточное пространство или кровь и заражают другие клетки.

Многие РНК-содержащие вирусы синтезируют фермент полимеразу, участвующую в синтезе новых частиц вирусной РНК. Эта РНК переходит на рибосомы и контролирует синтез белков вирусной оболочки-капсида. Таким вирусам для размножения и передачи генетической информации ДНК не требуется.

Проникая в клетки живых организмов, вирусы являются причиной ряда опасных заболеваний растений, животных и человека.

Некоторые вирусные заболевания:

- сельскохозяйственных растений: мозаичная болезнь табака, томатов и огурцов, скручивание листьев, карликовость и др.;
- домашних животных: ящур, чума свиней и птиц, инфекционная анемия лошадей, птичий грипп и др.;
- человека: грипп, гепатит, корь, оспа, энцефалит, полиомиелит, паратиф, бешенство и др.

Организмы, обладающие хорошим иммунитетом, способны бороться с вирусами, образуя *интерферон* (белок, обладающий защитными противовирусными свойствами).

Вироиды — инфекционные агенты, представляющие собой низкомолекулярную кольцевую одноцепочечную молекулу РНК, не кодирующую собственные белки. Главным отличием вироидов от вирусов является отсутствие у них капсида. Вироиды, как и вирусы, способны вызывать заболевания животных и растений.

Бактериофаги — особая группа вирусов, поражающих бактерии. Открыты Ф. Туортом в 1915 г. Бактериофаг имеет *головку*, в которой находится молекула ДНК или РНК, полый стержень — *хвост*, окруженный белковым чехлом и способный сокращаться, впрыскивая нуклеиновую кислоту в бактериальную клетку, *базальную пластинку* и *хвостовые нити*, при помощи которых бактериофаг прикрепляется к поверхности бактерии.

Бактерии встречаются повсеместно, населяя все среды обитания. Наибольшее количество их находится в почве — до 3 млрд в одном грамме. Бактерии обнаружены в пресной и соленой воде, на ледниках. Их много в воздухе, в молоке, в организмах животных и растений (как живых, так и мертвых). Не является исключением и организм человека.

Царство Бактерии

Бактерии представляют собой, как правило, микроскопические одноклеточные организмы размером от 0,2 до 10 мкм, в редких случаях — до 30–100 мкм. Среди бактерий встречаются неподвижные и подвижные формы. Передвигаются бактерии с помощью одного или нескольких жгутиков. Клетки бактерий разнообразны по форме: шаровидные (кокки), палочковидные (бациллы), в форме запятой (вибрионы), извитые (спирохеты и спириллы).

Клетка большинства бактерий имеет слизистую *капсулу*, которая предохраняет ее от высыхания и является защитным покровом (рисунок 38). Клеточная стенка бактерии представлена одним или несколькими слоями сложного углевода, под которым находится цитоплазматическая мембрана.

Бактерии относятся к *прокариотам* (доядерные формы). Они не имеют оформленного ядра, а их генетический аппарат — *нуклеоид* — представлен кольцевой молекулой ДНК, не связанной с белками, которая находится в цитоплазме. Впячивания цитоплазматической мембраны, называемые *мезосомами*, выполняют у бактерий функции, аналогичные функциям мито-

хондрий, комплекса, Гольджи, эндоплазматической сети. В цитоплазме бактериальных клеток содержится множество рибосом и различные включения (гранулы гликогена, белки, жиры). Бактерии могут быть бесцветными или содержать пигменты (пурпурные или зеленые).



Рисунок 38 — Строение бактериальной клетки

Различные вещества поступают в бактерию через клеточную стенку. По способу питания (тип ассимиляции) бактерии подразделяются на автотрофные и гетеротрофные.

Автотрофные бактерии синтезируют необходимые для их жизнедеятельности органические вещества. Часть из них — *фотосинтезирующие* — используют для этих процессов энергию Солнца. Они обитают в пресных и морских водах. Их зеленый пигмент называется бактериохлорофиллом. Фотосинтез протекает у них в анаэробных условиях без выделения кислорода. Вторая группа — *хемосинтезирующие* бактерии — используют для жизнедеятельности энергию различных экзотермических реакций: нитрифицирующие переводят аммиак в нитриты и далее — в нитраты; железобактерии — закисное железо в окисное; водородные бактерии окисляют молекулярный водород.

Гетеротрофные бактерии используют для питания готовые органические вещества. *Сапрофиты*, или бактерии гниения, используют органические вещества мертвых тел или выделения других организмов: почвенные бактерии разлагают перегной, образуя вещества, необходимые для жизни растений; клубеньковые бактерии способствуют связыванию свободного азота воздуха; молочнокислые бактерии превращают сахара в молочную кислоту; маслянокислые сбраживают углеводы, спирты, органические кислоты до масляной кислоты. К гетеротрофам относятся и *паразитические бактерии*, которые поселяются в живых организмах и питаются за их счет.

По типу диссимиляции бактерии могут быть аэробными и анаэробными. *Аэробные* бактерии обитают в условиях свободного доступа кислорода. Они получают энергию в процессе окисления органических соединений до двуокси углерода и воды. *Анаэробные* бактерии обитают в бескислородных условиях и существуют за счет энергии, выделяемой при реакциях брожения.

Обычно бактерии размножаются бесполом путем — делением клетки надвое, которое следует за удвоением кольцевой молекулы ДНК. Одна бактерия при благоприятных условиях образует за сутки более 600 млн новых клеток. В ряде случаев для бактерий характерен половой процесс — *конъюгация*, при которой между двумя клетками происходит обмен участками ДНК или целыми ее молекулами.

При наступлении неблагоприятных условий многие бактерии образуют *споры*. При этом цитоплазма клетки сжимается, и клетка покрывается плотной оболочкой. Споры характеризуются большой устойчивостью к различным воздействиям и сохраняют жизнеспособность в течение длительного времени. Попадая в благоприятные условия, они набухают, сбрасывают оболочку и дают начало новым бактериальным клеткам.

Бактерии принимают активное участие в круговороте веществ в природе. Сюда относится большая группа гнилостных бактерий, которых называют природными санитарами. Они разрушают трупы животных и растительные остатки, превращая сложные органические соединения в простые — аммиак, сероводород, углекислый газ и другие. Нитрифицирующие и клубеньковые бактерии способствуют повышению плодородия почвы: нитрифицирующие бактерии переводят аммиак в нитриты и далее — в нитраты; клубеньковые бактерии, поселяясь на корнях бобовых растений, усваивают азот воздуха и синтезируют азотистые соединения, доступные корням растений. Бактерии широко используются в пищевой промышленности для получения кисломолочных продуктов, сыра, сливочного масла, квашения овощей, изготовления вина. В химической промышленности бактерии используются для получения этилового и бутилового спиртов, уксусной кислоты, ацетона; в медицинской — для получения ряда антибиотиков, витаминов, гормонов и ферментов. Без бактерий невозможны процессы, происходящие при сушке табачных листьев, дублении кожи, мацерации волокон льна, обработке каучука. Бактерии, обитающие в рубце желудка жвачных животных, разлагают целлюлозу.

В ряде случаев деятельность бактерий имеет негативные последствия. Определенные виды бактерий повреждают рыболовные сети, сено в стогах, рукописи и книги в библиотеках. Поселяясь на продуктах питания (мясе, рыбе, масле), бактерии делают их непригодными для употребления в пищу.

Некоторые бактерии-паразиты (болезнетворные бактерии) поселяются на покровах тела или в организме человека и вызывают такие заболевания, как тиф, холера, дифтерия, столбняк, туберкулез, ангина, сибирская язва, бруцеллез, чума. Заражение человека может происходить при контакте с больными, а также через воду и продукты питания, в которых находятся бактерии или их споры.

Цианобактерии (или сине-зеленые водоросли) — группа микроскопических фотосинтезирующих одноклеточных, колониальных и многокле-

точных прокариотических организмов. Распространены в пресных и соленых водоемах (входят в состав планктона и бентоса), на поверхности почвы, на скалах; могут вступать в симбиоз с грибами (образуя лишайники), протистами, водорослями, мхами.

Царство Протисты

Протисты — ядерные организмы, которые нельзя однозначно отнести к растениям, животным или грибам. Это все одноклеточные и колониальные, а так же многоклеточные организмы, у которых тело представляет собой таллом, или слоевище.

Протисты расселены по всей поверхности Земли. Они обитают в морях и пресных водоемах, многие — в почве. Значительное число видов протистов приспособилось к жизни внутри или на поверхности других организмов и перешло к паразитическому образу жизни.

Тело протистов может быть разной формы и размеров. Так, некоторые одноклеточные протисты имеют длину всего нескольких тысячных долей миллиметра, а талломы многоклеточных — до 60 м и более.

Среди протистов встречаются как подвижные, так и неподвижные организмы. Подвижные протисты передвигаются с помощью жгутиков или ресничек. Клетки протистов, не имеющие постоянной формы тела, могут образовывать выпячивания, называемые ложноножками. С их помощью эти организмы двигаются и питаются.

Клетки всех протистов отделены от окружающей среды цитоплазматической мембраной. С наружи от цитоплазматической мембраны часто имеется дополнительный покров различного строения. У некоторых протистов наружная оболочка может укрепляться различными органическими или неорганическими веществами, что приводит к формированию панциря или раковины (наружный скелет). Ряд организмов обладает органическим или минеральным внутренним скелетом.

Клетки протистов содержат все органоиды, свойственные типичной ядерной клетке. Для протистов характерны различные типы питания. *Автотрофные* протисты в процессе фотосинтеза сами образуют органические вещества. *Гетеротрофные* протисты питаются готовыми органическими веществами, получая их из внешней среды. Среди них есть сапротрофы, паразиты и хищники. Есть также *автогетеротрофные* протисты. Для них характерен смешанный тип питания, т.е. они не только сами образуют органические вещества, но могут потреблять их в готовом виде из окружающей среды. Большинство автотрофных и автогетеротрофных протистов называются водорослями.

Свободно живущие протисты используют для дыхания кислород, поглощая его всей поверхностью тела. Некоторые виды протистов, ведущих паразитический образ жизни и обитающих внутри тела более крупных организмов, способны существовать и при полном отсутствии кислорода.

Выделение продуктов обмена у протистов, также как у бактерий, происходит чаще всего через всю поверхность тела.

Как и все живые организмы, протисты обладают раздражимостью. Это значит, что они способны воспринимать воздействия различных факторов окружающей среды и определенным образом отвечать на них. Чаще всего ответом на внешнее раздражение служит движение по направлению к действующему раздражителю или в противоположном направлении. Протисты реагируют на свет, температуру, химические вещества, механическое раздражение и др.

Протисты способны длительное время сохранять свою жизнеспособность благодаря образованию цист. *Циста* — это клетка с ядром, небольшим количеством цитоплазмы и самых необходимых органоидов, которая окружена плотной, часто многослойной оболочкой. В цисте обмен веществ практически полностью прекращается, и клетка переходит в состояние покоя. Оно может длиться десятки и даже сотни лет. В таком состоянии организм переносит неблагоприятные условия, а также распространяется. При попадании в благоприятные условия оболочка цисты разрушается, и из нее выходит организм, который начинает быстро расти и размножаться. Размножение протистов может происходить как бесполым, так и половым способами.

Гетеротрофные протисты — широко распространенная группа организмов, которая объединяет более 50 тыс. видов. Их можно встретить в соленых и пресных водоемах, почве. Многие из этих организмов являются паразитами человека, животных и растений. Примером гетеротрофных протистов являются амеба обыкновенная и инфузория туфелька.

Амеба обыкновенная — одноклеточный организм, достигающий в размере 0,1–0,3 мм. Форма тела амебы постоянно меняется, и в разных его участках образуются ложноножки, которые служат для захвата пищи и передвижения. Тело амебы имеет все характерные для ядерной клетки особенности строения. Оболочка состоит из цитоплазматической мембраны. Внутриклеточное содержимое включает цитоплазму, ядро и органоиды (рисунок 39).

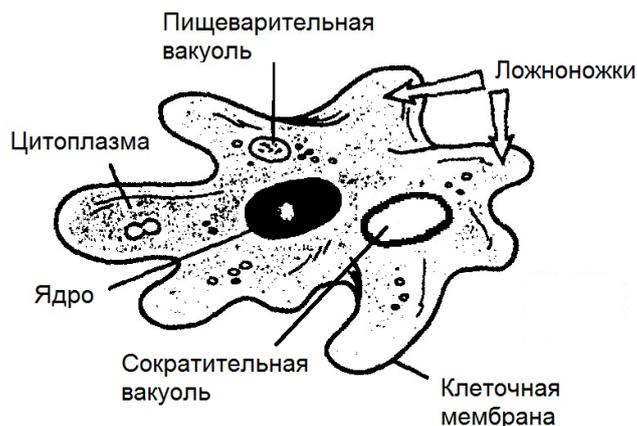


Рисунок 39 — Схема строения амебы

Амеба имеет сократительную вакуоль, которая регулирует внутриклеточное давление, и пищеварительную вакуоль, в которой происходит переваривание захваченной пищи. Дыхание и выделение происходит через всю поверхность тела.

Размножается амеба делением клетки на двое. Как и многие другие протисты, амеба способна образовывать цисту. Так она переносит неблагоприятные условия (похолодание, пересыхание водоема, отсутствие пищи).

Инфузория туфелька — один из наиболее высокоорганизованных гетеротрофных протистов. В отличие от амебы она имеет постоянную форму тела, напоминающую туфельку с тупым передним и заостренным задним концами (рисунок 40). Размер тела 0,2–0,3 мм. Ее тело покрыто сложно устроенной оболочкой с большим количеством ресничек, имеются клеточный рот и клеточная глотка. Характерно наличие двух ядер разной формы и размеров, которые выполняют различные функции. Питание, дыхание и выделение схожи с таковыми у амебы, но не переваренные остатки пищи выводятся через порошицу. Бесполое размножение — поперечное деление клетки надвое; половой процесс — конъюгация.



Рисунок 40 — Строение инфузории туфельки

К автотрофным протистам относятся водоросли. *Водоросли* — талломные фотосинтезирующие организмы, живущие преимущественно в водной среде. Сегодня известно около 40 тыс. видов водорослей. К водорослям относятся как микроскопические, так и довольно крупные организмы. Тело водорослей имеет разнообразную форму, строение и окраску. Они могут прикрепляться к субстрату своей нижней частью либо оставаться неприкрепленными. У водорослей есть хлоропласты, и при фотосинтезе

они выделяют кислород. В клеточной оболочке большинства водорослей, как и у растений, содержится целлюлоза. Запасные вещества многих водорослей — крахмал и масло. Размножаются водоросли бесполовыми половыми способами. Органы бесполого размножения (спорангии) и полового размножения (гаметангии) большинства водорослей одноклеточные.

Тема 28. Паразитические одноклеточные организмы

Дизентерийная амеба вызывает амебиаз. Амебиаз распространен в странах с тропическим и субтропическим климатом: Северной и Центральной Африке, Индии, Китае, на Филиппинских островах, США, в республиках Средней Азии, Закавказья, Приморском крае. Амебиаз является причиной более чем 100 тыс. смертельных случаев в мире за год.

В жизненном цикле паразита выделяют две стадии: вегетативную (трофозоит) и цисту. В кишечнике человека трофозоит может существовать в 4 формах: 1) тканевая форма 15–25 мкм; 2) большая вегетативная форма, размером до 40 мкм; 3) малая вегетативная, просветная форма, размером 10–20 мкм; 4) предцистная форма. Цисты дизентерийной амебы, как правило, 4-ядерные размером 10–14 мкм.

Паразит обитает в толстом кишечнике человека, а также может заноситься кровью в печень, легкие, головной мозг.

Человек заражается цистами паразита при употреблении загрязненных пищевых продуктов, воды или через предметы домашнего обихода. Из цисты в кишечнике образуется 8 мелких вегетативных форм, которые обитают в просвете кишечника. В дистальном отделе толстого кишечника вегетативные формы превращаются в цисты и с фекалиями выделяются во внешнюю среду. При ухудшении условий мелкие вегетативные формы переходят в крупные вегетативные (патогенные), внедряются в слизистую кишечной стенки и вызывают образование язв, у больных появляется кровавый понос. Погружаясь глубже, они превращаются в тканевые формы, которые могут попадать в кровь и разноситься по всему организму, вызывая образование абсцессов (гнойных воспалений) в печени, легких и других органах.

Профилактика амебиаза включает в себя соблюдение правил личной гигиены, употребление для питья кипяченой воды, борьбу с мухами, тараканами, выявление и лечение больных лиц, предупреждение загрязнения почвы и воды фекалиями, просветительскую работу с населением.

Лямблия — возбудитель лямблиоза у человека. Болезнь распространена повсеместно.

Тело лямблий имеет грушевидную форму. Длина около 10–18 мкм, ширина 7–8 мкм. Для лямблии характерна билатеральная симметрия. Паразит 2-х ядерный, он обладает двумя присасывательными дисками, позволяющими паразиту прикрепиться к слизистой оболочке тонкого кишечника хозяина, и 4 парами жгутиков (рисунок 41).

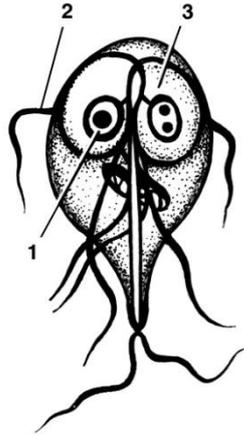


Рисунок 41 — Лямблия: 1 — ядро, 2 — присасывательный диск, 3 — жгутик

Заражение происходит при заглатывании цист через загрязненные продукты и воду. Попадая в организм человека и проходя в тонкий кишечник, цисты превращаются в вегетативные формы, которые приступают к питанию и размножению. К клеткам они прикрепляются с помощью присасывательных дисков. Паразит способен к инцистированию, образуя цисты округлой формы и с плотной оболочкой. Цисты образуются в толстом кишечнике, куда вегетативные формы попадают из тонкого кишечника.

Лямблии нарушают пищеварение, всасывание жиров и углеводов, синтез отдельных ферментов.

Профилактика заражения людей лямблиями заключается в соблюдении правил личной гигиены, уничтожении механических переносчиков цист паразита (мух, тараканов), выявление и лечение больных лиц, предотвращении фекального загрязнения внешней среды, воды, пищевых продуктов.

Малярийный плазмодий является возбудителем малярии. Ежегодно малярией заболевает 300–500 млн человек, 1,5–2,7 млн умирают, из них 90 % — дети младшего возраста. Малярия распространена преимущественно в странах с жарким тропическим климатом.

Цикл развития возбудителя малярии протекает в теле человека и комара рода *Anopheles*. В организме человека наблюдается бесполое размножение: в клетках печени экзоэритроцитарная шизогония, затем в крови эритроцитарная шизогония и образование гаметоцитов (незрелых гамет). В организме малярийного комара происходит половое размножение плазмодия (гаметогония и копуляция) и бесполое размножение (спорогония).

Экзоэритроцитарная шизогония начинается с момента укуса человека инвазированным малярийным комаром и впрыскивания им *спорозоитов* в капилляры крови. Спустя час после заражения спорозоиты проникают в гепатоциты и подвергаются множественному делению. Сам гепатоцит разрывается, и из него выходят *тканевые мерозоиты*.

Поступившие в кровь тканевые мерозоиты проникают в эритроциты. Мерозоит, внедрившийся в эритроцит, опять подвергается множественно-

му делению с образованием *эритроцитарных мерозоитов*, которые разрушают пораженные эритроциты и выходят в плазму крови. Клинически это проявляется приступом малярийной лихорадки. На фоне приступов увеличиваются селезенка, печень, разрушаются эритроциты, развивается анемия, страдают все системы организма, сердечнососудистая, нервная, мочеполовая, кроветворная и другие.

Образовавшиеся эритроцитарные мерозоиты во время приступа проникают в новые эритроциты, и цикл эритроцитарной шизогонии повторяется. Через несколько дней после начала эритроцитарной шизогонии часть мерозоитов трансформируется в мужские и женские *гаметоциты*.

При укусе больного малярией человека, комар заглатывает гаметоциты, которые в желудке комара превращаются в зрелые *женские и мужские гаметы*. После слияния мужской и женской гамет образуется *зигота*. Она приобретает продолговатую форму, становится подвижной и проникает под наружную стенку желудка. Там она теряет подвижность, увеличивается в размерах, покрывается защитной оболочкой и становится *ооцистой*. Ооциста множественно делится, образуя до 10000 спорозоитов. После этого ее оболочка разрывается и спорозоиты по гемолимфе достигают слюнных желез комара. С этого момента комар при укусе может заразить здорового человека и цикл развития паразита начнется сначала.

Профилактика малярии заключается в выявлении и лечении больных людей, уничтожении комаров, использовании средств защиты от комаров.

Тема 29. Царство Животные. Тип Плоские черви

Плоских червей известно около 7300 видов. Они обитают в пресных и морских водоемах, почве, многие из них являются паразитами.

Для плоских червей характерно:

- 1) билатеральная симметрия;
- 2) форма тела сплюснутая в спинно-брюшном направлении;
- 3) трехслойность: развитие экто-, энто- и мезодермы;
- 4) отсутствие полости тела (пространство между органами заполнено паренхимой);
- 5) наличие кожно-мускульного мешка, который состоит из покровной ткани — тегумента (неклеточной многоядерной структуры) и слоев кольцевых, продольных и диагональных мышц;
- 6) пищеварительная система представлена передней и средней кишкой, заканчивающейся слепо, у ленточных червей она отсутствует;
- 7) выделительная система протонефридиального типа;
- 8) нервная система представлена окологлоточным нервным кольцом и отходящими от него нервными стволами;
- 9) кровеносная и дыхательная системы отсутствуют;
- 10) половая система хорошо развита, большинство плоских червей — гермафродиты.

Тип Плоские черви включает три основных класса: Ресничные, Сосальщики и Ленточные черви.

Свободноживущие представители плоских червей относятся к классу **Ресничные черви**. Это хищники, обитатели морей, пресных водоемов, влажной почвы. Их кожа имеет ресничный покров. Рот расположен на брюшной стороне. Пищеварение, как правило, внутриклеточное. Ресничные черви — гермафродиты; развитие у них прямое или с превращением. Характерна регенерация. Типичный представитель класса — *белая планария*.

Класс **Сосальщики**, или двуустки, объединяет представителей, которые являются паразитами беспозвоночных, позвоночных животных и человека. Тело сосальщиков несегментированное. Наружный слой кожно-мускульного мешка — *кутикула*. Органы фиксации — *присоски*. Пищеварительная трубка представлена передней и средней кишками. Анальное отверстие отсутствует. Органы выделения — протонефридии. Сосальщики — гермафродиты; развитие с превращением. Представитель класса — *печеночный сосальщик*.

Червь обитает в желчных протоках печени коров, овец, коз, оленей, редко встречается у человека. К стенке протоков он прикрепляется с помощью присосок (ротовой и брюшной). Форма тела листовидная, длина его 3–5 см. Половая система у них устроена сложно и занимает большую часть объема тела. Глотка и пищевод очень короткие, кишечник представлен двумя сильно ветвящимися петлями, которые слепо заканчиваются (рисунок 42).



Рисунок 42 — Пищеварительная система печеночного сосальщика

Травоядные животные и человек являются основными хозяевами печеночного сосальщика, в них происходит половое размножение паразита. Червь питается кровью и клетками печени. Очень плодовит, в сутки выделяет до 20 тыс яиц. Для дальнейшего развития яйца должны попасть в воду, где из них выходит личинка, покрытая ресничками. Некоторое время она плавает, но для дальнейшего развития должна попасть в тело моллю-

ска, например малого прудовика (промежуточный хозяин), где паразит развивается и размножается. Сформировавшиеся подвижные личинки с хвостом выходят в воду, плывут к прибрежным растениям и прикрепляются к ним. Позже они покрываются защитной оболочкой (образуют цисту) и остаются в состоянии покоя. Затем неподвижные личинки вместе с прибрежной растительностью и водой могут быть проглочены животными-хозяевами. В их кишечнике оболочка личинки растворяется, она проникает в печень и развивается во взрослого червя.

Печеночный сосальщик разрушает желчные ходы печени, проникает в печеночную ткань и вызывает воспалительные процессы. Закрывая просвет желчных ходов, паразит может нарушать отток желчи.

Сосальщики, паразитируя в печени сельскохозяйственных животных, ослабляют их, нарушают пищеварение, снижают продуктивность.

Меры профилактики сводятся к следующему: не использовать для питья сырой не фильтрованной воды из опасных в этом отношении водоемов; тщательно мыть или обдавать кипятком овощи, употребляемые в пищу в сыром виде. Также к мерам профилактики относятся: уничтожение малого прудовика — промежуточного хозяина паразита, выявление и лечение больных животных и людей, смена пастбищ, просветительская работа с населением.

Представители класса *Ленточные черви* значительно отличаются от ресничных червей и сосальщиков. Это преимущественно паразиты кишечника животных и человека. Они имеют сегментированное тело, которое состоит из *головки*, *шейки* и *члеников*. Органы фиксации — присоски и крючья. Наружный слой кожно-мышечного мешка имеет множество выростов — *микроворсинок*, которые всасывают питательные вещества из кишечника хозяина. Ленточные черви — гермафродиты, их развитие проходит с превращением. Типичным представителем класса является *бычий цепень* (рисунок 43).

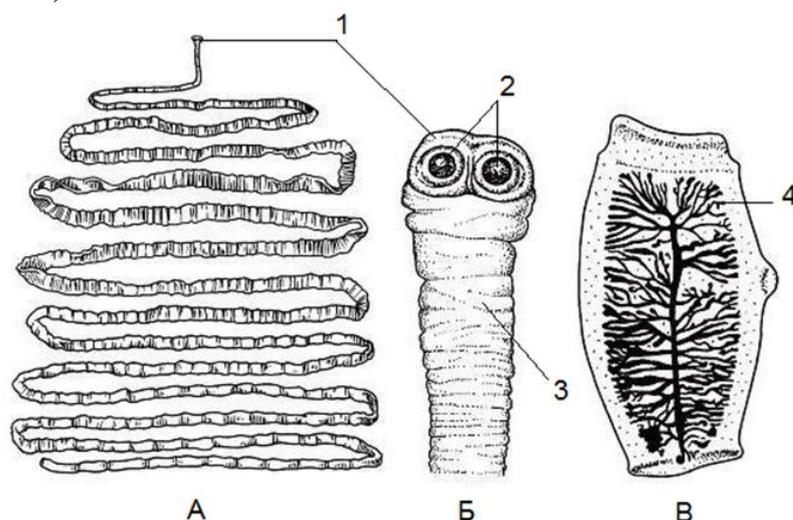


Рисунок 43 — Бычий цепень: А — взрослый червь, Б — передняя часть тела, В — членик; 1 — головка, 2 — присоски, 3 — шейка, 4 — матка с яйцами

Червь имеет размеры 5–7 м. Живет в кишечнике человека до 18–20 лет.

Развитие бычьего цепня проходит со сменой двух хозяев. Окончательный хозяин паразита — человек, промежуточный хозяин — крупный рогатый скот. Скот заражается, проглотив яйца червя, которые с фекалиями человека могут попасть на траву, сено или другой корм. В их желудке из яиц выходят личинки — *онкосферы*, которые пробуравливают стенку кишечника и с током крови разносятся в мышцы, где образуют *финны*. Финна имеет вид пузыря, на одном конце которого ввернута внутрь головка с шейкой. Финны достигают размеров горошины и сохраняют жизнеспособность на протяжении 20–24 мес. Человек заражается при употреблении плохо проваренной, прожаренной или провяленной говядины. Финна, попав в организм человека, выворачивает головку с шейкой и прикрепляется к стенке кишечника. Червь растет и начинает образовывать членики, развиваясь в половозрелую стадию паразита.

Ленточные черви не только истощают организм человека, питаясь за его счет. Продукты их жизнедеятельности вызывают нарушение пищеварения, отравление продуктами обмена веществ, малокровие.

Профилактика заражения состоит в том, чтобы не есть сырой или полусырой говядины. Также необходима обязательная ветеринарная экспертиза говядины на бойнях и рынках.

Тема 30. Тип Круглые черви

Описано более 500 тыс. видов круглых червей. Свободно живущие круглые черви заселяют дно водоемов и почву. Многие виды являются паразитами животных и вредителями растений. Их размеры — от нескольких миллиметров до нескольких метров. Тело веретеновидное, заостренное с обоих концов.

Общие признаки представителей типа Круглые черви:

- 1) трехслойность: развитие экто-, энто- и мезодермы;
- 2) наличие первичной полости тела;
- 3) билатеральная симметрия;
- 4) вытянутое несегментированное тело, имеющее в поперечном сечении более или менее округлую форму;
- 5) пищеварительная система представлена передней, средней и задней кишкой. Она начинается ротовым и заканчивается анальным отверстием;
- 6) нервная система состоит из головных нервных узлов (ганглиев), окологлоточного кольца и продольных стволов, из которых наиболее развиты спинной и брюшной;
- 7) характерна частичная редукция кожно-мускульного мешка или полное отсутствие его у некоторых групп; обычно он представлен только продольной мускулатурой, разбитой на четыре продольные ленты;
- 8) отсутствие дыхательной и кровеносной систем;

9) раздельнополость подавляющего большинства форм.

Тип объединяет представителей 5 классов. По численности и значению самым крупным является класс Нематоды. Для нематод — паразитов человека и животных — характерны признаки полового диморфизма (внешние различия самца и самки) и сложные циклы развития. Наиболее известным представителем круглых червей является *аскарида человеческая*, паразитирующая в кишечнике (рисунок 44).

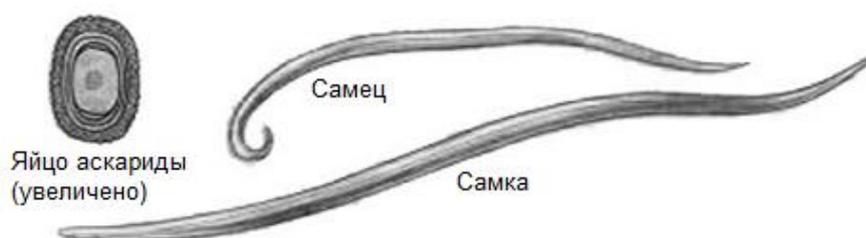


Рисунок 44 — Аскарида человеческая

Самки червя имеют длину тела 30–40 см, самцы — 15–20 см. У самцов задний конец тела спирально закручен на брюшную сторону. Сложный жизненный цикл аскариды протекает следующим образом. Зрелые яйца из кишечника человека попадают во внешнюю среду. При достаточно высокой температуре (+ 25°C), влажности и при доступе кислорода через 2–4 недели в яйце развивается личинка. С водой, овощами, фруктами или через немытые руки яйца аскариды с личинками попадают в организм человека. Личинка выходит из яйца, проходит через стенку кишечника в кровяное русло и начинает миграцию по организму: через печень и сердце попадает в легкие; из кровеносных капилляров выходит в альвеолы, проходит в бронхи, трахею, ротовую полость; заглатывается и снова попадает в кишечник, после чего превращается в половозрелую форму. Обитая в организме человека, аскариды поглощают питательные вещества, выделяют в кровь токсические продукты обмена веществ, вызывают механические повреждения стенки кишечника, кровеносных сосудов и дыхательных путей. Все это приводит к развитию болезни, называемой *аскаридозом*. У больных отмечаются боли в животе, головные боли, общая слабость, головокружение, раздражительность, снижение работоспособности и памяти. Когда аскарид в кишечнике много, они могут сплетаться в клубки, вызывать закупоривание кишечника, подниматься по нему в верхи попадать в горло. Это может даже привести к удушью и смерти.

Меры профилактики заражения: мытье рук после контакта с землей, тщательная очистка и мытье овощей, фруктов и ягод перед употреблением в пищу, их термическая обработка. Также выявление и лечение больных, санитарно-просветительная работа, благоустройство туалетов.

Острица — небольшой червь белого цвета (рисунок 45), вызывает у человека заболевание *энтеробиоз*. Длина самок червя около 10 мм, самцов —

2–5 мм. Задний конец тела самца спирально закручен. Острица паразитирует в кишечнике преимущественно у детей, но ею могут заразиться и взрослые. Жизненный цикл паразита протекает без смены хозяев. Самки с оплодотворенными яйцами выходят через анальное отверстие наружу и откладывают возле него на кожу от 10 до 15 тыс. яиц, вызывая при этом сильный зуд. Дети расчесывают кожу, и яйца остриц попадают под ногти, а с грязных рук в рот. Так происходит повторное заражение паразитом. Часть яиц рассеиваются по белью и окружающим предметам, попав в питьевую воду, на пищевые продукты и предметы обихода, заражают других людей. Живет детская острица около месяца.

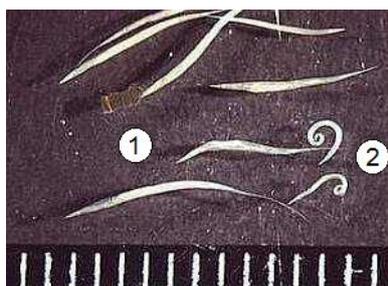


Рисунок 45 — Острицы: 1 — самки, 2 — самцы

При энтеробиозе возникают боли в животе, кишечные расстройства, дисбактериоз, зуд в перианальной области, беспокойный сон, головные боли, снижение успеваемости у школьников и трудоспособности у взрослых, иногда нервные расстройства.

Профилактика заражения энтеробиозом заключается в тщательном соблюдении правил личной гигиены. Особенно важно прививать гигиенические навыки детям, следить за чистотой их рук и ногтей, подмывать детей с мылом утром после сна. Эффективна систематическая влажная уборка помещений, мытье и обработка игрушек и предметов обихода.

Тема 31. Общая характеристика типа Членистоногие. Класс Ракообразные

Членистоногие — является самым большим и процветающим типом в мире животных. В его состав входит свыше 1,5 млн видов, из них 0,9 млн — насекомые. Членистоногие распространены повсеместно: в водоемах, почве, воздухе, являясь существенным компонентом всех экологических систем.

Для членистоногих характерна билатеральная симметрия. Они имеют вторичную полость тела, слившуюся с остатками первичной полости — миксоцель. У большинства членистоногих тело сегментировано на три отдела — голову, грудь, брюшко. В голове сконцентрированы сенсорные органы и внешние нервные центры. К голове часто примыкают грудные сегменты, в результате чего образуется головогрудь. Имеются членистые конечности, выполняющие разную роль (органы передвижения, чувств, нападения и т. д.).

Для организмов этого типа характерны трехслойность: развитие экто-, энто- и мезодермы; наличие внешнего скелета в виде хитинизированной кутикулы, а также поперечнополосатой мускулатуры. Для членистоногих характерно также наличие пищеварительной, дыхательной, выделительной, кровеносной, нервной и половой систем.

Пищеварительная система разделена на передний, средний и задний отделы. В переднем отделе сосредоточен аппарат измельчения пищи, в среднем отделе имеются пищеварительные железы (зачатки), задний отдел заканчивается заднепроходным отверстием. Ротовой аппарат составлен передними конечностями (три пары).

Дыхательная система у организмов, обитающих в воде (ракообразных), представлена жабрами, а у наземных организмов — легочными мешками (у паукообразных) или трахеями (у паукообразных и трахейнодышащих).

Кровеносная система состоит из дорсального сосуда, представляющего собой сердце и аорту, и является незамкнутой. Гемолимфа (аналог крови) бесцветна или имеет желтый цвет. Гемолимфа в основном выполняет транспортную функцию, а также служит местом хранения воды и пищевых запасов.

Выделительная система представлена видоизмененными метанефридиями или мальпигиевыми сосудами.

Нервная система состоит из головного нервного узла («головной мозг»), окологлоточного кольца и брюшной нервной цепочки. Высокого развития достигают все органы чувств: осязания, обоняния, вкуса, зрения, слуха и равновесия.

Большинство членистоногих раздельнополы. Хорошо выражен половой диморфизм. Размножение половое; встречаются партеногенез и живорождение. Постэмбриональное развитие может быть прямым с неполным или полным метаморфозом.

Основные классы типа: Ракообразные, Паукообразные, Насекомые.

Ракообразные — это водные членистоногие или обитатели влажных мест. Размеры их тела от миллиметра до 1 м. Распространены повсеместно; ведут свободный или прикрепленный образ жизни. Класс насчитывает около 20 тыс. видов и подразделяется на два подкласса: Низшие раки (дафния, циклоп) и Высшие раки (омар, лангуст, креветки, рак речной). Только для ракообразных характерно наличие двух пар усиков, двуветвистых конечностей и жаберного дыхания. Типичный представитель класса — *рак речной*. Обитает в пресных водоемах с проточной водой, ведет ночной образ жизни и является хищником.

Строение тела. Тело речного рака имеет три отдела: голову, грудь и брюшко. Покровы головного и грудного отделов слиты и образуют головогрудной панцирь. Членистое брюшко заканчивается хвостовым плавником. На голове две пары усов (короткие и длинные), рот окружен видоизме-

ненными конечностями: одна пара образует верхние челюсти, две пары — нижние челюсти, три пары — ногощелюсти. Все они служат для удержания, ощупывания и измельчения пищи. На груди 5 пар членистых ходильных ног, из них первая пара несет клешни, с помощью которых рак нападает и защищается. На брюшке шесть члеников несут 5 пар двуветвистых ножек, шестая пара — плавник (рисунок 46).

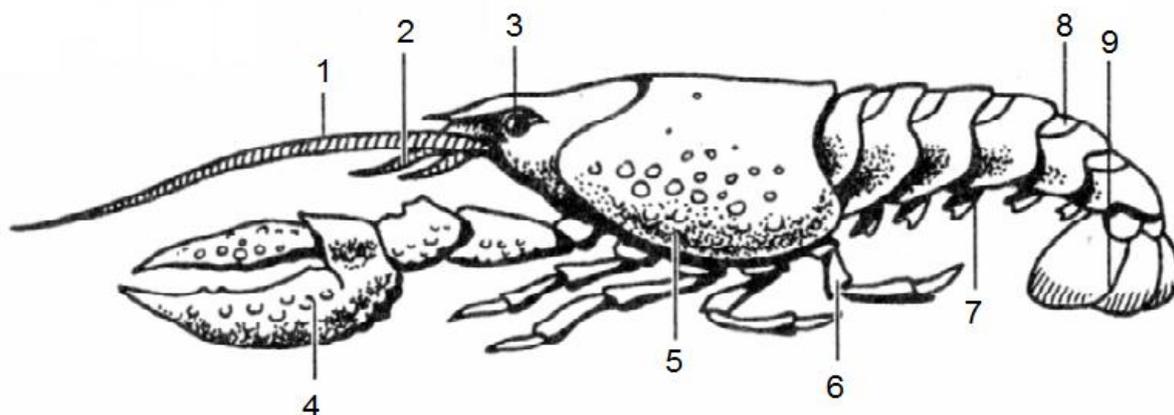


Рисунок 46 — Внешний вид речного рака:

1 — длинные усики, 2 — короткие усики, 3 — глаза, 4 — клешни, 5 — головогрудной панцирь, 6 — ходильные ноги, 7 — двуветвистые ножки, 8 — брюшко, 9 — плавник

Покров и мускулатура. Покров хитиновый, прочный, легкий, выполняющий роль наружного скелета, к которому изнутри прикрепляются пучки мышц. Впервые появляется поперечно-полосатая мышечная ткань.

Пищеварительная система. Речной рак — всеядное животное. Из рта измельченная челюстями пища через глотку и через пищевод поступает в желудок. В желудке, состоящем из двух отделов (жевательного и цедильного), пища дополнительно перетирается хитиновыми зубцами. Потом она проходит через пластинки с волосками цедильного аппарата и поступает в средний отдел кишечника, а затем в полость трубочек пищеварительной железы. В них пища переваривается под действием пищеварительных соков и всасывается. Не переваренные остатки поступают в задний отдел кишечника и через анальное отверстие выводятся наружу.

Дыхательная система. Органы дыхания — жабры. Они расположенные под хитиновым покровом по бокам головогруды и окутаны сетью кровеносных капилляров (рисунок 47).

Кровеносная система речного рака незамкнутая. На спинной стороне головогруды под панцирем располагается сердце с отходящими от него кровеносными сосудами, открывающимися в полость тела. Гемолимфа омывает органы и ткани, где отдает кислород и поглощает углекислый газ. Затем она поступает в жабры, где насыщается кислородом и выводит углекислый газ в воду.

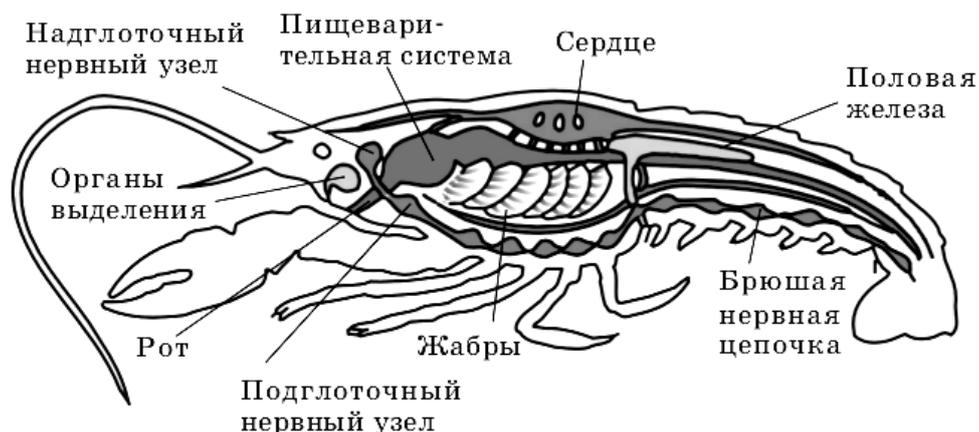


Рисунок 47 — Внутреннее строение речного рака

Выделительная система представлена парой зеленых желез, расположенных в головной части тела, и открывающихся наружу при основании длинных усов. Через них из организма удаляются конечные продукты жизнедеятельности.

Нервная система у речного рака представлена парными надглоточными и подглоточными ганглиями, объединенными окологлоточным нервным кольцом, брюшной нервной цепочкой и нервами.

Органы чувств. Орган зрения — пара сложных глаз на подвижных стебельках, органы обоняния — короткие усы, органы осязания — длинные усы. Органы равновесия — в виде двух ямок с песчинками, расположенных при основании коротких усов.

Размножение и развитие. Раки раздельнополы. Для них характерно половое размножение и прямое развитие. Зимой самка откладывает яйца, прикрепляет их к брюшным ножкам и вынашивает молодых рачков до лета. Затем они переходят к самостоятельному существованию. Живут раки 15–20 лет.

Значение ракообразных. Ракообразные служат пищей для водных животных и объектом промысла для человека (омары, крабы, креветки, раки). Они очищают водоемы от падали. Отдельные представители ракообразных вызывают болезни рыб, некоторые являются промежуточными хозяевами для сосальщиков и ленточных червей.

Тема 32. Класс Паукообразные

Класс Паукообразные насчитывает более 35 тыс. видов. Это хищники, паразиты-кровососы и растительноядные виды (скорпионы, пауки, клещи и др.). Кроме нескольких видов водных клещей, все паукообразные являются наземными животными. Они заселяют самые различные территории — от пустынь до полярных областей.

Для паукообразных характерно деление тела на головогрудь и брюшко (сегментированное у скорпионов и несегментированное у пауков). У

клещей деление тела на отделы отсутствует. Ходильных конечностей 4 пары. Глаза простые. Усики нет. Органы дыхания — трахеи или легкие. Паукообразные являются раздельнополыми.

Типичным представителем класса является *паук-крестовик*. Паук-крестовик является одним из самых широко распространенных паукообразных. На спинной стороне брюшка имеет рисунок в форме креста и отдельных белых пятнышек. Строит большие ловчие сети (рисунок 48). Является хищником.

Строение тела. Тело паука состоит из небольшой головогруды и крупного яйцевидного нечленистого брюшка. На голове находятся когтевидные челюсти с ядовитыми железами (хелицеры) и органы осязания (педипальпы) с помощью которых пауки удерживают и поворачивают добычу. На груди имеется 4 пары ходильных ног. На конце брюшка с нижней стороны расположены три пары паутинных бородавок, которые выделяют паутинные нити. С помощью гребенчатых коготков, на задних ногах, паук строит ловчую сеть.

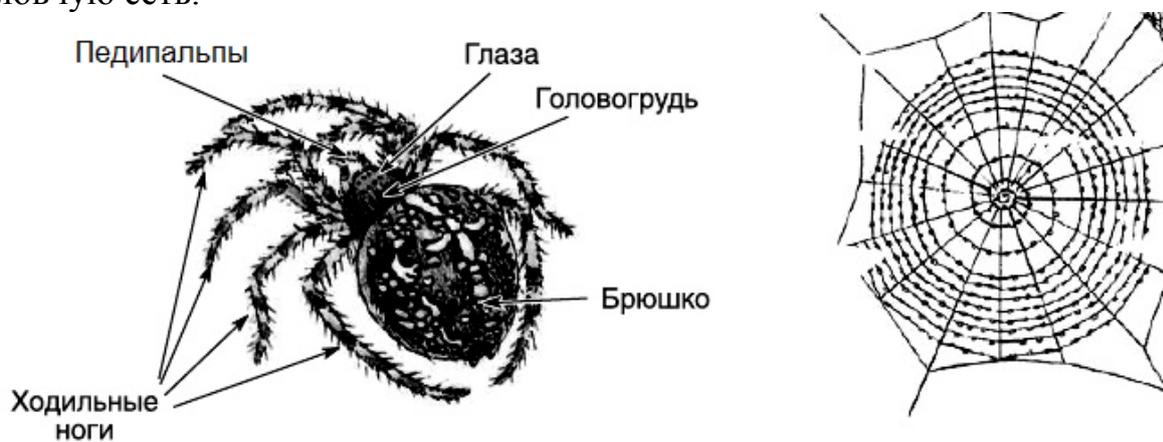


Рисунок 48 — Внешнее строение обыкновенного крестовика и его ловчая сеть

Покровы тела паука представлены многослойной хитинизированной кутикулой.

Пищеварительная система подразделяется на рот, глотку, пищевод, желудок (сосательный), переднюю, среднюю и заднюю кишки, анальное отверстие. Имеется печень. Предварительное пищеварение внеорганизменное, так как яд (из ядовитых желез, расположенных на головогруды) не только парализует жертву, но и является пищеварительным соком: переваривание убитой жертвы происходит вне организма паука, на паутине. Паук всасывает жидкую пищу и усваивает ее (рисунок 49).

Дыхательная система представлена легочными мешками и трахейными трубочками, обеспечивающими поглощение кислорода из атмосферного воздуха. Легочные мешки расположены в нижней части брюшка.

Кровеносная система незамкнутая. Кровь бесцветная; сердце в виде длинной трубочки, находится в спинной части брюшка, от него отходят сосу-

ДЫ.

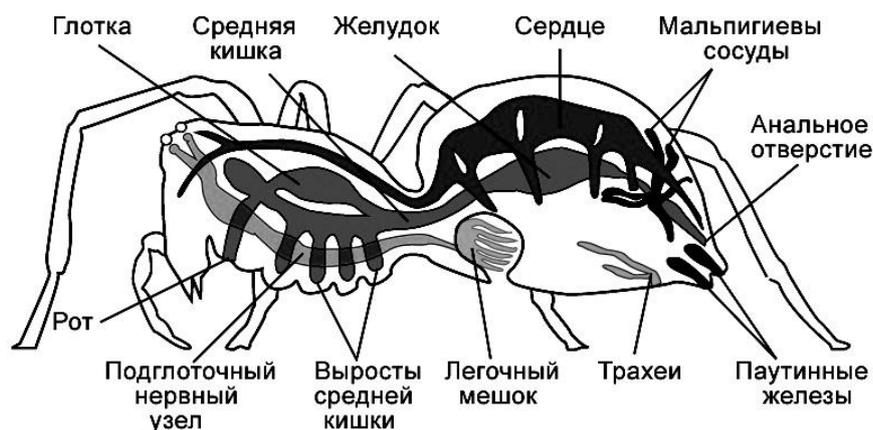


Рисунок 49 — Внутреннее строение паука

Выделительная система представлена мальпигиевыми трубочками, которые открываются в пищеварительный канал на границе средней и задней кишок, и коксальными железами (видоизмененные метанефридии), открывающиеся у основания первой пары ходильных конечностей.

Нервная система представлена нервным узлом, который расположен в головогруди и образован слиянием нервных ганглиев, и нервными пучками, отходящими от него.

Органы чувств представлены четырьмя парами простых глаз на голове и органами осязания в виде тактильных волосков, которые многочисленны на ногощупальцах.

Размножение и развитие. Пауки — раздельнополые животные. Самка гораздо крупнее самца, что является признаком полового диморфизма. Оплодотворение наружно внутреннее. Самец паука-крестовика выделяет мешочек со сперматозоидами, а самка захватывает его и направляет внутрь, где и происходит оплодотворение яйцеклеток. Осенью самка строит паутинный кокон, куда откладывает яйца и погибает. Весной из яиц выводятся потомство, похожее на взрослых особей, сразу начинающее строить сеть и ловить мелких насекомых.

Значение паукообразных. Пауки, питаясь насекомыми, уничтожают большое число вредителей. Сами они служат пищей мелким млекопитающим, птицам, ящерицам. Опасность для человека представляют ядовитые пауки (каракурт, тарантул и др.).

Кроме пауков, в природе широко распространены клещи. Они обитают в почве, пещерах, гнездах птиц, паразитируют на человеке, различных животных и растениях. Тело их не расчленено на отделы. Ротовой аппарат — сосущий или колюще-сосущий. Многие клещи не имеют органов зрения. Размножение половое, развитие с неполным метаморфозом.

Среди клещей есть паразиты растений, животных и человека. Чесоточный клещ поселяется на коже человека и вызывает болезнь чесотку.

Предупредить это заболевание можно содержанием в чистоте предметов домашнего обихода, соблюдением гигиенических правил. При кровососании таежные и поселковые клещи могут передавать человеку тяжелые заболевания: различные виды энцефалита, клещевые тифы и др. Таежные клещи обитают в крупных лесных массивах и мерами защиты от них может служить специальная одежда и репелленты.

Тема 33. Класс Насекомые

Насекомые — наиболее высокоорганизованные членистоногие. Распространены повсеместно: на суше, в почве, в водоемах. Большинство из них ведут воздушный образ жизни. Среди насекомых встречаются свободноживущие и хищники, паразиты человека, животных и растений. Класс насчитывает более 1 млн видов.

Для насекомых характерно деление тела на голову, грудь и брюшко; наличие трех пар ходильных конечностей и 1–2 пар крыльев. Тип сложно устроенного ротового аппарата насекомых определяется способом питания: грызущий (жуки), сосущий (бабочки), колюще-сосущий (вши), лижущий (мухи). Органы выделения — мальпигиевы трубочки и жировое тело. Органы дыхания — трахеи. Надглоточный ганглий преобразован в «головной мозг», имеющий три отдела (передний, средний, задний). Фасеточные глаза содержат от 8– простых глазков (муравьи) до 28 тыс. (стрекозы). Насекомые раздельнополы, часто выражен половой диморфизм. Гонады парные. Размножение половое, у некоторых встречается партеногенез (тли, пчелы). Развитие с полным или неполным метаморфозом.

Детально внешнее и внутреннее строение насекомого можно рассмотреть на примере майского жука (рисунок 50).

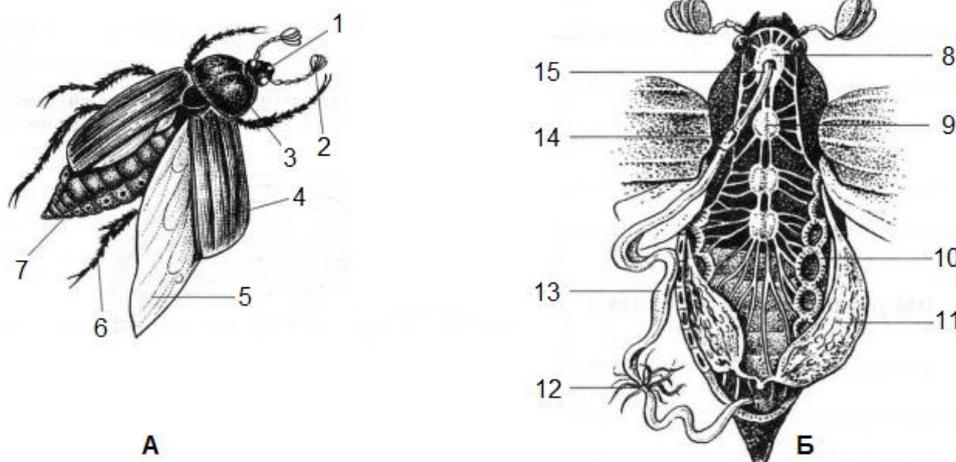


Рисунок 50 — Внешнее и внутреннее строение майского жука:

А — внешний вид, Б — внутреннее строение;

1 — голова, 2 — усики, 3 — грудь, 4 — надкрылья, 5 — крылья, 6 — нога, 7 — брюшко, 8 — окологлоточное нервное кольцо, 9 — грудной нервный узел,

10 — трахеи, 11 — яичник, 12 — мальпигиевые сосуды, 13 — средний отдел кишечника, 14 — желудок, 15 — пищевод

Строение тела. Тело подразделяется на голову, грудь и брюшко. Голова включает пять слившихся сегментов, на ней располагаются глаза, ротовые органы и два усика. От груди, состоящей из трех сегментов, отходят три пары членистых ног, а также две пары крыльев (жесткие надкрылья и перепончатые крылья). Брюшко состоит из шести члеников с дыхальцами по бокам.

Покровы тела жука представлены плотным хитиновым слоем, который выполняет защитную функцию и функцию наружного скелета. Рост насекомого связан с линькой, когда старый покров сбрасывается, а новый еще не затвердел.

Пищеварительная система начинается на голове ротовым отверстием с грызущими органами (непарные — верхняя и нижняя губа, парные — верхние и нижние челюсти) и слюнными железами и заканчивается на последнем сегменте брюшка анальным отверстием. Между ротовым и анальным отверстиями находится передняя, средняя, задняя кишка. Передняя кишка подразделяется на глотку, пищевод и жевательный желудок.

Дыхательная система представлена трахеями, которые ветвятся и оплетают все органы. Газообмен осуществляется непосредственно через стенки трахей, расположенных в тканях. В одну минуту совершается 20–35 дыхательных движений. Дыхательные движения обеспечиваются сокращениями мышц брюшка.

Кровеносная система незамкнутая, состоит из трубчатого сердца и аорты. Гемолимфа засасывается из полости тела через поры в сердце, затем перегоняется к головному концу в аорту, откуда вытекает в полость тела, разнося питательные вещества и продукты метаболизма. В транспортировке газов она не участвует.

Выделительная система представлена трубчатыми мальпигиевыми сосудами. Кроме них имеется жировое тело, которое извлекает из крови мочевую кислоту и, кроме того, запасает жир.

Нервная система представлена окологлоточным нервным кольцом и брюшной нервной цепочкой, у которой особенно развиты три пары грудных нервных узлов. Надглоточный нервный узел («мозг») образован тремя слившимися нервными ганглиями.

Органы чувств. Хорошо развиты органы зрения, обоняния, осязания (усики), равновесия и вкуса.

Размножение и развитие. Майские жуки являются раздельнополыми животными. Размножение половое. Органы размножения жука представлены у самок парными яичниками, у самцов — парными семенниками. Оплодотворение внутреннее, развитие с полным метаморфозом. После оплодотворения самка жука откладывает яйца в почву. Из яиц в почве в течение 3–4 лет развиваются личинки, которые питаются корнями деревьев. Затем личинки превращаются в куколок, и, достигнув максимального раз-

мера, превращаются в жуков и вылетают. Массовый вылет майских жуков происходит каждые 3–5 лет. Питаются они листьями березы.

Деление класса Насекомые на отряды основано на характере сегментации тела насекомых, особенностях строения ротового аппарата и крыльев, типе развития. После выхода из яйца развитие личинки у некоторых насекомых (вши, постельный клоп) может происходить без изменения внешнего строения (развитие прямое, или без превращения, без метаморфоза). У подавляющего большинства насекомых развитие происходит с частичными изменениями внешнего строения (развитие с неполным превращением, метаморфозом), либо со значительным изменением организации (развитие с полным превращением, метаморфозом). Насекомые, развивающиеся без превращения или с неполным превращением, имеют три стадии развития: яйцо, личинка и взрослое насекомое. У насекомых, развивающихся с полным превращением, четыре стадии развития: яйцо, личинка, куколка и взрослое насекомое.

Тип развития зависит от количества питательных веществ в яйце, что влияет на степень сходства в строении и образе жизни личинки и взрослого насекомого.

Отряды насекомых с неполным превращением: Стрекозы, Прямокрылые (к отряду относятся кузнечики, саранча, сверчки и др.), Вши и др. Отряды насекомых с полным превращением: Жесткокрылые (Жуки), Чешуекрылые (Бабочки), Перепончатокрылые (к отряду относятся осы, муравьи, пчелы, шмели и др.), Двукрылые (к отряду относятся комары, мухи, слепни и др.), Блохи и др.

Насекомые имеют большое значение как опылители цветков различных растений. Личинки насекомых, муравьи, термиты участвуют в почвообразовательных процессах, разлагают остатки животных и растений, выполняя роль санитаров. Многие насекомые являются составным звеном в круговороте веществ и в цепях питания. Насекомые, питающиеся различными частями растений, могут вызывать их гибель, снижать урожай технических, плодовых, овощных культур. Это вредители леса, поля, сада, огорода.

Значительна роль насекомых в жизни человека. Продукты их жизнедеятельности служат пищей (мед), сырьем для получения лекарств (пчелиный яд, прополис), для парфюмерной и текстильной промышленности. Некоторые насекомые используются в научных исследованиях. Это дрозофила, медоносная пчела, роющие осы.

Ряд насекомых представляют опасность для человека, являясь возбудителями и переносчиками ряда заболеваний. Вши, паразитирующие на теле и в волосяном покрове головы, вызывают заболевание педикулез. Заболевший человек испытывает зуд, у него нарушается сон, снижается трудовая активность. Кроме того вши являются переносчиками возбудителей сыпного тифа. Комары рода анофелес являются переносчиками малярии и других вирусных заболеваний человека. Комнатные мухи, контактирующие со сточными водами, бытовыми отходами, загрязняют пищу и предметы домашнего обихода. Они разносят возбудителей брюшного тифа, цисты дизентерий-

ной амебы, яйца паразитических червей. Такую же роль играют тараканы и муравьи, обитающие в жилище человека или рядом с ним.

Тема 34. Общая характеристика типа Хордовые. Класс Ланцетники

Тип Хордовые объединяет около 43 тыс. видов. Они распространены повсеместно и населяют все среды обитания. Представители типа чрезвычайно разнообразны по образу жизни, внешнему виду, размерам тела.

Основные признаки типа:

- имеется внутренний осевой скелет — *хорда*. Это хрящеподобный, несегментированный, эластичный, покрытый оболочкой внутренний осевой скелет, выполняющий опорную функцию. Хорда сохраняется в течение всей жизни у ланцетника, круглоротых и некоторых рыб, у остальных позвоночных и оболочников имеется только в эмбриональном состоянии.

- над хордой, на спинной стороне тела, расположена *нервная трубка*, полость которой заполнена спинномозговой жидкостью; из нервной трубки дифференцируется головной и спинной;

- под хордой находится *пищеварительная трубка*, передний конец которой (глотка) пронизан *жаберными щелями*;

- кровеносная система *замкнутая*, камерное сердце находится на брюшной стороне тела под пищеварительной трубкой, в отличие от животных предыдущих типов;

- тело имеет двустороннюю симметрию;

- в покрове тела имеется два слоя (*эпидермис, дерма*);

- имеется вторичная полость тела — *целом*;

- хордовые — трехслойные вторичноротые животные;

Тип Хордовые подразделяется на три подтипа. Два из них: **Бесчерепные** (класс Ланцетники); **Черепные**, или **Позвоночные** (надкласс Рыбы, классы: Круглоротые, Земноводные, Пресмыкающиеся, Птицы, Млекопитающие).

Подтип Бесчерепные, Класс Ланцетники

Это единственный класс подтипа, насчитывающий около 35 видов мелких животных, обитающих на мелководьях теплых морей. *Ланцетники* ведут пассивный образ жизни, наполовину зарывшись в песок.

Строение тела. Тело ланцетника 4–8 см длиной, полупрозрачное, веретеновидное, сплющенное с боков и заостренное с обоих концов (рисунок 51). На головном конце находится рот со щупальцами, вдоль спины проходит плавник, переходящий в хвостовой и подхвостовой плавники. Череп отсутствует. Скелет внутренний, представлен хордой. Тело сегментировано, мышцы хорошо развиты.

Покровы тела в виде однослойного эпидермиса; под ним тонкий слой соединительной ткани.

Пищеварительная система слабо дифференцирована. Имеются рото-

вое отверстие, окруженное щупальцами, глотка, кишечник, анальное отверстие. Способ питания — фильтрационный. Пищевые частицы склеиваются в глотке и проглатываются. Печень отсутствует, вместо нее — полый вырост кишечника.



Рисунок 51 — Строение ланцетника

Дыхательная система представлена жабрами в виде длинных косых щелей на стенке глотки. Жабры защищены околожаберной полостью, которая имеет отверстие на брюшной стороне. Вода поступает в ротовое и выходит в околожаберное отверстие.

Кровеносная система замкнутая; представлена спинным и брюшным сосудами и капиллярами. Сердца нет, его роль выполняет брюшной сосуд, по которому кровь движется к жабрам. Кровь бесцветная, гемоглобина нет. Кровь разносит по организму питательные вещества и газы.

Выделительная система представлена нефридиями (100 пар), которые расположены вдоль глотки в межжаберных перегородках, воронки погружены в целом, канальца открываются в околожаберную полость. С кровеносной системой связана слабо.

Нервная система представлена одинаковой по толщине нервной трубкой и периферическими, расположенными посегментно, нервами.

Органы чувств очень примитивны. Спереди нервной трубки имеется непарный глазок, вдоль нервной трубки расположены светочувствительные клетки, в поверхностном слое кожи расположены нервные клетки, воспринимающие химические раздражения. Вкус и запах улавливают осязательные клетки, разбросанные по всему телу.

Размножение и развитие. Ланцетники — раздельнополые животные. У них имеются около 25 пар гонад, расположенных посегментно. Половые клетки выходят через околожаберную полость в воду, где происходит оплодотворение. Развитие с неполным метаморфозом. Из яйца выходит личинка и развивается около трех месяцев, активно питаясь беспозвоночными животными — зоопланктоном. После чего она опускается на дно и во взрослом состоянии ведет довольно пассивный образ жизни, зарываясь в грунт.

Подтип Позвоночные, или Черепные

Позвоночные — самая многочисленная и наиболее высокоорганизованная группа хордовых животных. У большинства взрослых животных

хорда замещается более прочным внутренним скелетом — костным позвоночником. Развивается череп, который защищает головной мозг. Животные имеют две пары конечностей и пояса — плечевой и тазовый, к которым конечности прикрепляются. Пища отыскивается позвоночными животными активно, схватывается челюстями, часто дополнительно измельчается, что облегчает и ускоряет пищеварение.

Дальнейшее развитие центральной нервной системы и совершенствование органов чувств привели к усложнению поведения позвоночных животных. Они способны образовывать временные и постоянные группировки особей (семьи, стада, стаи, колониальные поселения). Это повышает их защищенность от врагов и снижает гибель от неблагоприятных факторов. Все эти приспособления способствуют широкому расселению позвоночных животных на планете.

Подтип Позвоночные объединяет около 41 тыс. современных видов животных, заселивших все жизненные среды: океаны, моря, озера, реки, пруды, поверхность суши, почву континентов и островов, а также воздушное пространство.

Тема 35. Общая характеристика надкласса Рыбы

Рыбы — позвоночные животные, обитающие в воде, дышащие при помощи жабер и имеющие обтекаемое, покрытое чешуей тело. Известно более 20 тыс. видов рыб. Детально внешнее и внутреннее строение рыбы можно рассмотреть на примере *речного окуня*.

Строение тела. Окунь имеет веретеновидную, обтекаемую, уплощенную с боков форму тела. Оно состоит из отделов: голова, туловище и хвост. Органы движения окуня: непарные плавники — спинной, хвостовой, подхвостовой (анальный); парные — грудные, брюшные (рисунок 52).

Покровы тела представлены кожей, покрытой костными чешуями; в коже имеются железы, выделяющие слизь. Окраска чешуи темная на спине, поперечно-полосатая на боках и желтовато-белая на брюшной стороне.

Скелет слагается из черепа, позвоночника, связанных с ним ребер, скелета плечевого и тазового поясов конечностей. Череп состоит из мозговой коробки, костей челюстей, жаберных дуг и жаберных крышек. Пластинки плавников поддерживаются костными лучами.

Мышцы сегментированные, однотипные, опираются на позвоночник, особенно мощные мышцы спины и хвоста. Мышцы обеспечивают также движение плавников, челюстей, жаберных крышек.

Пищеварительная система состоит из рта с зубами, глотки, пищевода, желудка, тонкого кишечника, куда впадают протоки печени и поджелудочной железы, заднего отдела кишечника и анального отверстия. От переднего отдела кишечника ответвляется плавательный пузырь, наполнен-

ный смесью газов. Он облегчает вертикальные перемещения рыбы в толще воды.

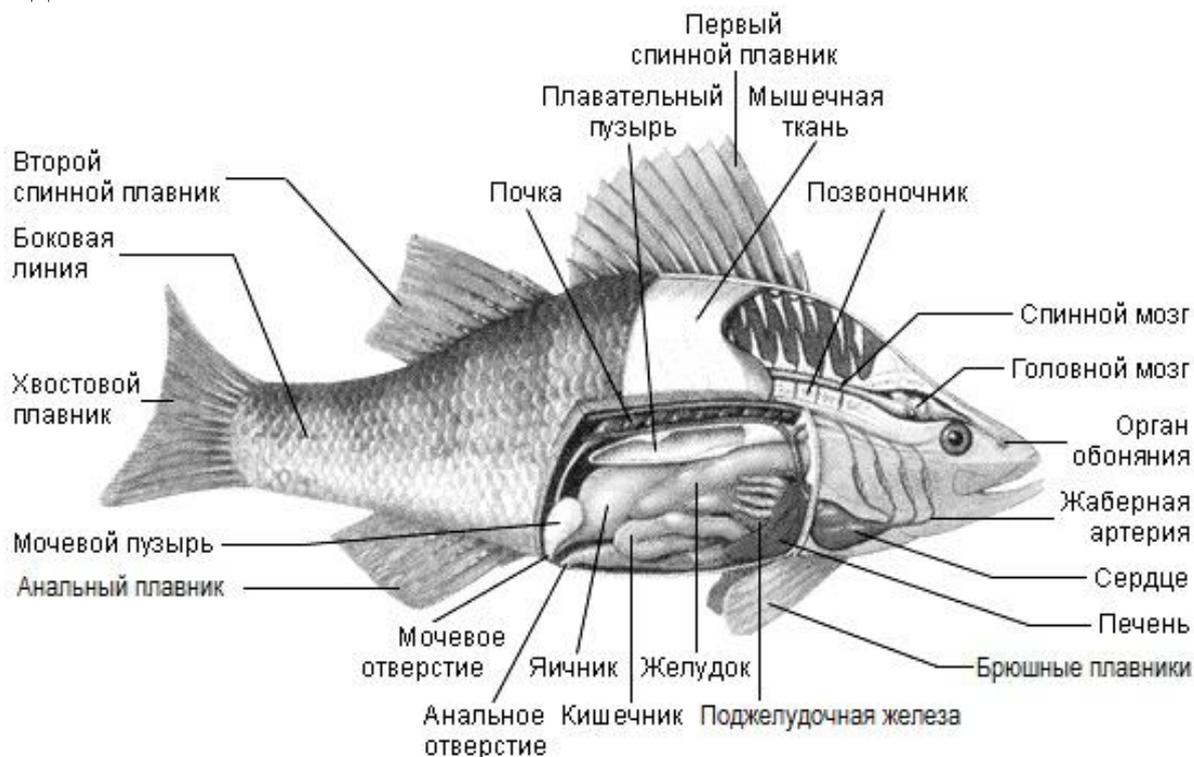


Рисунок 52 — Внешнее и внутреннее строение речного окуня

Органы дыхания — жабры, состоящие из дуг, с расположенными на них лепестками. Рыба заглатывает ртом воду, пропускает ее через жабры, где происходит поглощение растворенного в воде кислорода и выделение углекислого газа.

Кровеносная система замкнутая с одним кругом кровообращения. Сердце у окуня двухкамерное. Оно состоит из предсердия и желудочка. Венозная кровь проходит через предсердие, затем желудочек сердца, попадает в аорту, артерию, которая многократно ветвится на капилляры в жабрах. В жабрах происходит газообмен, в результате чего кровь становится артериальной — насыщенной кислородом. Жаберные капилляры собираются в вены и несут к клеткам тела артериальную кровь, где происходит газообмен. Оттекающая от органов и тканей кровь собирается в крупные вены, кровь течет по ним к сердцу и снова поступает в предсердие.

Выделительная система представлена парой туловищных почек, расположенных вдоль позвоночника в виде вытянутых темно-красных тел. От них отходят мочеточники, по которым моча стекает в мочевой пузырь, затем удаляется через мочевое отверстие наружу.

Нервная система делится на центральную и периферическую. Центральная нервная система представлена спинным и головным мозгом, периферическая — нервами. Спинальный мозг находится в спинномозговом канале позвоночника. Головной мозг состоит из пяти отделов: переднего,

среднего, промежуточного, продолговатого мозга и мозжечка. Он защищен костями черепной коробки.

Органы чувств у окуня хорошо развиты. Органы зрения — глаза, орган слуха — внутреннее ухо, органы обоняния — в носовой полости, органы вкуса (вкусные почки) в ротовой полости и на губах. Боковая линия — орган, воспринимающий направление движения воды и силу тока воды. Осязательные клетки разбросаны по всему телу.

Размножение и развитие. Рыбы — раздельнополые животные. Половые органы у самок — парные яичники, у самцов — парные семенники. Оплодотворение наружное. В период нереста самки откладывают икру, самцы изливают на нее семенную жидкость со сперматозоидами. Развитие у речного окуня проходит с неполным превращением. Оплодотворенная яйцеклетка (икринка) развивается и из нее выходит личинка (на 9–14 день). Личинка покидает оболочку икринки и начинает самостоятельную жизнь, питаясь планктоном. Из личинки образуется малек. Малек окуня быстро растет и за один год достигает длины не менее 10 см.

Надкласс Рыбы включает классы Хрящевые и Костные рыбы.

Класс Хрящевые рыбы представлен не многочисленной (около 700 видов) группой морских рыб, имеющих хрящевой скелет в течение всей жизни (акулы и скаты). Жаберные крышки у хрящевых рыб отсутствуют. По бокам головы открываются 5–7 жаберных щелей. Плавательного пузыря нет. Оплодотворение внутреннее. Размножение происходит разными способами: путем откладки яиц, яйцеживорождением или живорождением.

К классу Костные рыбы относится самая многочисленная группа позвоночных животных (свыше 20 тыс. видов). Внутренний скелет у большинства рыб костный, лишь у немногих хрящевой, но укрепленный накладными покровными костями. Жаберные щели прикрыты с боков жаберными крышками. Развит плавательный пузырь. Оплодотворение в основном наружное. К данному классу относятся следующие отряды костных рыб: Осетрообразные (осетр, севрюга, белуга, стерлядь и др.), Сельдеобразные (атлантическая, тихоокеанская, балтийская (салака) сельди, кильки, сардины, анчоусы и др.), Лососеобразные (горбуша, кета, кумжа, семга, голец и др.), Карпообразные (каarp, карась, плотва, лещ, язь, сазан и др.) и др.

Хозяйственное значение рыб определяется тем, что они являются одним из звеньев пищевых цепей в природе и участвуют в круговороте веществ. Для подкормки скота и в качестве удобрения используется мука, приготовленная из отходов рыбной промышленности. Человек использует в пищу промысловых рыб и различные продукты из них.

Медицинское значение рыб заключается в том, что некоторые виды служат промежуточными хозяевами для гельминтов, являющихся возбудителями описторхоза, дифиллоботриоза, другие — сырьем для получения лекарств, например рыбьего жира, третины — являются ядовитыми живот-

ными, представляющими опасность для здоровья человека.

Рыбы имеют и эстетическое значение.

Тема 36. Класс Земноводные

Земноводные, или амфибии, — холоднокровные позвоночные животные, обитающие в двух средах — водной и наземной — и способные во взрослом состоянии дышать на суше кислородом воздуха при помощи легких и кожи, а в воде — растворенным в ней кислородом через кожу. Личинки земноводных развиваются в пресной воде и дышат жабрами и кожей; во взрослом состоянии жабры сохраняются только у некоторых хвостатых земноводных.

Класс Земноводные объединяет примерно 3 тыс. видов и подразделяется на отряды Бесхвостые, Хвостатые и Безногие земноводные.

Лягушка озерная — представитель отряда бесхвостых земноводных.

Строение тела. Тело лягушки подразделяется на голову и туловище. Шея почти не выражена. Туловище уплощено в спинно-брюшной плоскости и соединено с головой подвижно. Каждая передняя конечность состоит из плеча, предплечья и четырехпалой кисти; задняя из бедра, голени и пятипалой стопы.

Покровы тела. Кожа голая, со слизистыми железами, постоянно увлажненная.

Скелет лягушки значительно отличается от скелета рыбы. Позвоночник состоит из одного шейного, 7 туловищных, одного крестцового позвонков и хвостовой кости (рисунок 53). Ребер и грудной клетки нет. Плечевой пояс представлен парными костями — лопатками, ключицами, вороньими костями и непарной костью грудины. Пояс задних конечностей состоит из парных подвздошной, седалищной, лобковой костей, образующих таз. Свободные конечности: передние, включают плечевую, сросшиеся локтевую и лучевую кости, кости запястья, кисть и фаланги пальцев; задние — бедренную, сросшиеся большую и малую берцовую кости, кости предплюсны, плюсны и фаланги пальцев. Череп составлен лобно-теменной и затылочными костями, глазницами и челюстными костями.

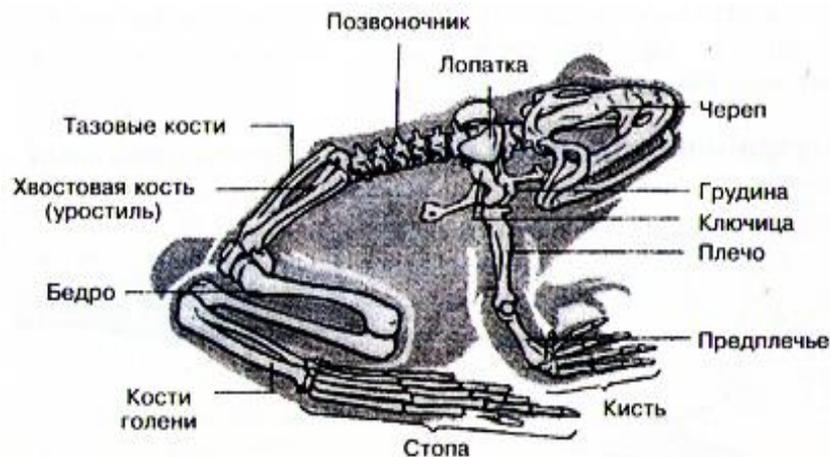


Рисунок 53 — Скелет лягушки

Мышцы хорошо развиты в связи со способностью плавать и прыгать. Это мышцы ягодичные, бедренные (двуглавая, трехглавая), икроножные.

Пищеварительная система состоит из ротовой полости (в ней находится язык и открываются протоки слюнных желез), пищевода, желудка, кишечника, состоящего из 12-перстной кишки (куда впадают протоки печени и поджелудочной железы) и тонкой кишки, и прямой кишки, заканчивающаяся расширением — клоакой (рисунок 54).



Рисунок 54 — Внутреннее строение лягушки

Дыхательная система представлена парными легкими. Они имеют тонкие ячеистые стенки, которые пронизаны кровеносными капиллярами, где происходит газообмен. Дыхательные пути: ноздри, ротовая полость, гортань, легкие. Важную роль играет кожное дыхание, поэтому кожа всегда увлажнена.

Кровеносная система состоит из трехкамерного сердца (два предсердия и один желудочек) и сосудов. Имеется два круга кровообращения — большой и малый (легочный). Оба круга кровообращения начинаются от желудочка, в результате сокращения которого кровь разного состава поступает в три разные артерии.

При первом сокращении желудочка из него выталкивается порция венозной крови, которая попадает в кожно-легочные артерии, легкие, кожу,

где становится артериальной, затем она попадает в легочные вены и возвращается в левое предсердие (вены большого круга кровообращения и правое предсердие в случае кожного дыхания).

При втором сокращении желудочка смешанная кровь выталкивается в аорту, по которой движется ко всем органам тела и возвращается по венам, приносящим венозную кровь в правое предсердие.

При третьем сокращении желудочка сердца артериальная кровь выталкивается в сонную артерию, ведущую к головному мозгу.

Кроветворным органом является красный костный мозг, где образуются клетки крови — эритроциты, лейкоциты, тромбоциты. Эритроциты имеют ядро.

Выделительная система состоит из парных туловищных почек, мочеточников, клоаки и мочевого пузыря. В почках кровь освобождается от избытка воды, солей, мочевины, в результате чего образуется моча, стекающая по мочеточникам в клоаку, а затем в мочевой пузырь. Накапливаемая моча через клоаку выводится наружу.

Нервная система делится на центральную и периферическую. Центральная нервная система представлена спинным и головным мозгом, периферическая — нервами. Головной мозг состоит из 5 отделов: передний мозг (разделен на два полушария и достигает большего развития, чем у рыб), промежуточный, средний, продолговатый мозг и мозжечок (слаборазвитый). Спинной мозг заключен в спинномозговой канал позвоночника.

Органы чувств имеют особенности, связанные с переходом к жизни на суше. Глаза защищены от высыхания подвижными веками. Они имеют выпуклую роговицу и двояковыпуклый хрусталик. Органы слуха, представленные слуховым отверстием, затянутым барабанной перепонкой, средним и внутренним ухом, защищены костями черепа. Органы обоняния сообщаются с внешней средой парными ноздрями. Органы осязания находятся в коже, органы вкуса — в ротовой полости.

Размножение и развитие. Лягушки раздельнополы. Половые органы у самок — парные яичники, у самцов — парные семенники. Оплодотворение наружное, в воде. Самкой выделяется икра (яйцеклетки), которая похожа на икру рыб, самцы выпускают на нее жидкость со сперматозоидами. Оплодотворенные яйца покрываются слизью. Развитие у лягушки проходит с неполным превращением. Из яйца через две недели вылупляется личинка, которая у лягушки называется *головастиком*. Через 2–3 месяца он превращается в лягушку.

Представителями отряда бесхвостых земноводных, кроме лягушек, являются жабы. Кожа у них грубая, бугристая. Выделения кожных желез ядовиты. По сравнению с лягушками они более медлительны в движениях; ведут ночной образ жизни. К бесхвостым также относятся жерлянки,

квакшии др.

Характерным признаком хвостатых земноводных является наличие у его представителей хвоста. Конечности у них одинаковой длины, задняя пара может быть редуцирована. Большинство представителей — водные животные. Тритоны и саламандры являются типичными представителями отряда.

Представителями отряда безногих земноводных являются тропические животные, обитающие во влажном грунте и по внешнему виду напоминающие червей.

Значение земноводных: они уничтожают большое количество насекомых-вредителей сельскохозяйственных культур, их личинок и слизней. Земноводные являются продуктом питания для рыб, птиц, змей и некоторых пушных зверей. В ряде стран лягушек используют в пищу и человек. Лягушка является объектом для научных исследований.

Тема 37. Класс Пресмыкающиеся

Пресмыкающиеся — первые настоящие наземные позвоночные. Обитают во всех зонах земного шара. Характерной особенностью их является то, что они размножаются на суше яйцами, дышат исключительно легкими, кожа имеет роговые покрытия. Для яиц характерно наличие защитной оболочки (скорлупы) и большого количества желтка, что уже само по себе означает приспособление к жизни на суше. У организмов этого класса развились также оболочки, окружающие эмбрион (одна из этих оболочек — амнион). Благодаря этим важным репродуктивным приспособлениям пресмыкающихся относят к амниотам (вместе с птицами и млекопитающими). У пресмыкающихся получили развитие пятипалые конечности. Впервые у них появляется кора больших полушарий.

Класс насчитывает около 7 тыс. видов и подразделяется на отряды: Клювоголовые, Чешуйчатые, Крокодилы, Черепахи.

Детали внешнего и внутреннего строения пресмыкающихся можно рассмотреть на примере *прыткой ящерицы*, которая относится к отряду Чешуйчатые.

Строение тела. Тело ящерицы подразделяется на голову, шею, туловище и хвост. Части конечностей те же, что и у лягушки, но пятипалые, без перепонки, с когтями на концах пальцев.

Покровы тела. Кожа сухая, с роговыми чешуйками, которая сбрасывается по мере роста животного.

Скелет состоит из черепа, позвоночника, верхних и нижних конечностей. Шейный отдел позвоночника состоит из шести позвонков. Пояснично-грудной отдел соединен ребрами с грудиной, в результате чего образуется грудная клетка. Имеется также крестцовый и хвостовой отделы позвоночника. Хвостовые позвонки способны разламываться и отделять хвост. Кости конечностей те же, что и у лягушки (рисунок 55).

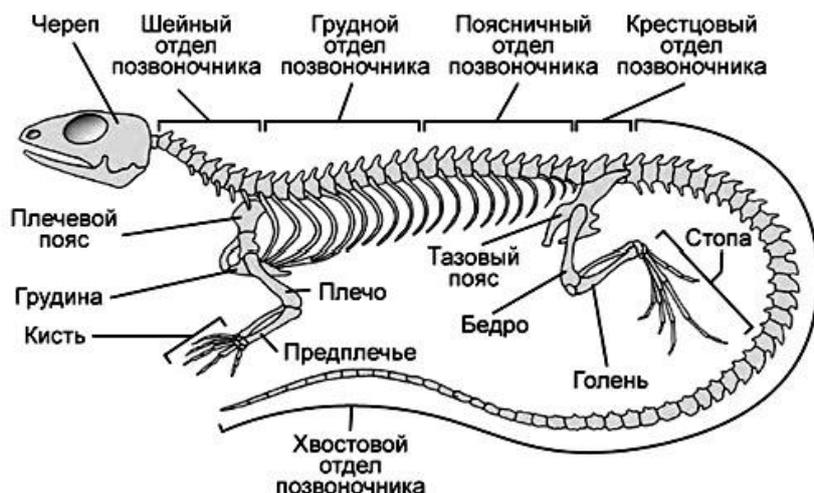


Рисунок 55 — Скелет ящерицы

Мышцы более развиты, чем у лягушки. Имеются отличия — межреберные мышцы, обеспечивающие дыхательные движения.

Пищеварительная система включает рот, глотку, пищевод, желудок, толстую кишку, тонкую кишку, клоаку. В 12-перстную кишку открываются кровотоки печени и поджелудочной железы. В ротовую полость впадают протоки слюнных желез (рисунок 56).

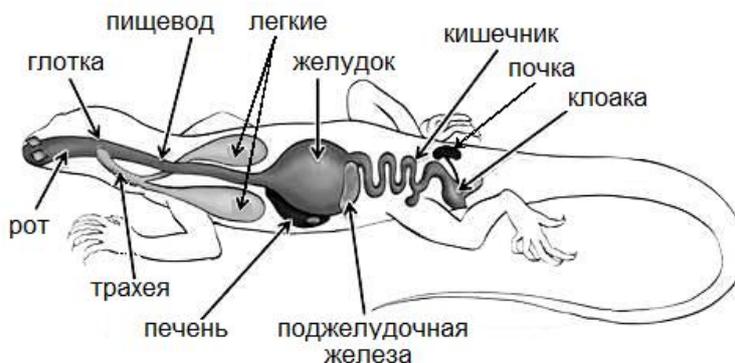


Рисунок 56 — Внутреннее строение ящерицы

Дыхательная система включает носовые отверстия, гортань, трахею, два бронха, парные легкие, имеющие ячеистое строение. Кожного дыхания нет.

Кровеносная система. Имеется два круга кровообращения. Сердце трехкамерное, но в желудочке имеется зачаток перегородки, что препятствует полному смешиванию крови. Легочная артерия отходит от правой стороны желудочка и несет в легкие венозную кровь. Сонные артерии (разветвление правой дуги аорты) отходят от левой стороны желудочка и несут артериальную кровь в головной мозг. Левая дуга аорты отходит от средней части желудочка и несет смешанную кровь по всем органам тела.

Выделительная система представлена двумя тазовыми почками, двумя мочеточниками (открываются в клоаку) и мочевым пузырем.

Нервная система Центральная, включающая головной и спинной мозг,

и периферическая, представленная нервами, отходящими от головного и спинного мозга. Головной мозг состоит из пяти отделов; значительно сильнее, чем у земноводных, развиты полушария переднего мозга, на поверхности полушарий имеются зачатки коры — серого мозгового вещества (обуславливает усложнение форм поведения животных); мозжечок (обеспечивает высокую подвижность животного) имеет большие размеры и развит более сложно, чем у земноводных.

Органы чувств — зрения, слуха, обоняния, осязания, вкуса — подобны органам чувств земноводных, но приспособлены к ориентации и поведению в наземной среде.

Размножение и развитие. Ящерицы раздельнополы. Половые органы у самок — парные яичники, у самцов — парные семенники. Оплодотворение внутреннее. Оплодотворенное яйцо увеличивается в размере, покрывается пергаментной оболочкой и выводится наружу. Развитие прямое, без личиночной стадии. В мае-июне самка ящерицы откладывает яйца (5–15 шт.) с запасом питательных веществ в желтке, обычно в земле или под камнями. Под воздействием солнечного тепла в них развиваются и затем вылупляются детеныши ящерицы.

Отряд Чешуйчатые объединяет около 6500 видов и, кроме ящериц, включает в себя хамелеонов и змей. Змеи — своеобразная группа рептилий, которые приспособились к ползанию по земле и утратили конечности. Грудина у змей отсутствует, и ребра с брюшной стороны заканчиваются свободно. Отсутствуют и пояса конечностей. Позвоночник содержит 200–450 позвонков. Ядовитые змеи — кобра, гюрза, гадюка, эфа убивают жертву, вводя яд, а затем заглатывают. Удавы (тигровый питон, анаконда) предварительно душат добычу. Уж заглатывает добычу живьем.

Отряд Крокодилы объединяет 22 вида крупных ящероподобных животных, длина тела которых от 1,5 до 4–6 м. Живут они в пресных и солоноватых водах тропических зон планеты. Ноздри и глаза сильно выступают над поверхностью головы, что позволяет погруженному в воду животному дышать воздухом и наблюдать за окружающим. Тело покрыто роговыми щитками. Наиболее известные представители отряда: аллигаторы, нильский крокодил, гавиал, кайман. Крокодилы опасны для человека.

Отряд Черепахи включает около 250 видов. Они живут во влажных тропиках и в жарких пустынях. Прочный костный панцирь, в который могут прятаться голова и конечности, сверху покрыт роговыми пластинами или мягкой кожей. Позвонки, кроме шейного и хвостового отделов, также как и ребра, сращены со спинным щитом панциря. Черепахи ведут как наземный, так и водный образ жизни. Конечности водных форм имеют между пальцами плавательные перепонки. У крупных морских черепах пятипалые конечности преобразованы в ласты. Зубы у современных черепах отсутствуют. Их заменяют роговые пластинки, покрывающие челюсти. Наземные формы питаются растительной пищей, водные являются хищни-

ками — их пищу составляют беспозвоночные, рыбы, лягушки. Наиболее широко распространена в стоячих и медленно текущих пресных водоемах умеренных широт болотная черепаха. В морских экваториальных водах живет зеленая или суповая черепаха.

Клювоголовые являются самыми примитивными пресмыкающимися и представлены лишь одним ныне существующим видом — гаттерией, обитающей в Новой Зеландии. Гаттерия сходна с ящерицами, но отличается от них строением черепа.

Значение пресмыкающихся состоит в том, что они являются одним из звеньев пищевых цепей в биосфере. Человек использует в пищу мясо и яйца черепах, а также мясо змей и крокодилов. Кожа змей и крокодилов является ценным сырьем для легкой промышленности. Змеиный яд используется для получения лекарств. Кроме того, змеи уничтожают значительное количество грызунов — вредителей сельскохозяйственных культур.

Тема 38. Класс Млекопитающие

Млекопитающие — наиболее высокоорганизованный класс позвоночных животных. Они распространены по всем континентам и заселили наземно-воздушную, водную и почвенную среды. Млекопитающие играют огромную роль в природе и хозяйственной деятельности человека. Известно около 4,5 тыс. видов млекопитающих.

Детали внешнего и внутреннего строения пресмыкающихся можно рассмотреть на примере *домашней собаки*.

Строение тела. Тело подразделяется на голову, шею, туловище и хвост, который четко отграничен от туловища. Две пары пятипалых конечностей с неубирающимися когтями находятся под туловищем. На голове находятся ушные раковины, чувствительные волосы, вытянутый нос, рот с губами, глаза с двумя веками и ресницами на них. Подвижность головы обеспечивается гибкой шеей.

Покров волосяной, состоящий из шерсти (ости) и подшерстка, периодически линяющий. Потовых желез в коже мало, имеются сальные и пахучие железы. Молочные железы, — видоизмененные потовые, с сосками.

Скелет включает череп, позвоночник, грудную клетку, пояса передних и задних конечностей, свободные конечности. Череп состоит из мозгового и лицевого отделов, глазниц, верхней и нижней челюсти, несущих 42 зуба, различных по форме и функции (резцы, клыки, коренные зубы). Зубы находятся в лунках, состоят из корня, шейки и коронки, покрытой эмалью. Позвоночник состоит из 7 шейных, 12 грудных, 6 поясничных позвонков, соединенных подвижно, 3–4 крестцовых, сросшихся с костями таза, и хвостовых (соединенных подвижно) позвонков. Число хвостовых позвонков различно. Грудная клетка образована грудным отделом позвоночника, 12 парами ребер и грудиной. Пояс передних конечностей: две лопатки с приросшими вороньими костями; ключицы не развиты, так как движение

только в одном направлении. Пояс задних конечностей: кости таза — парные седалищные, лобковые, подвздошные. Свободные конечности: передние лапы — плечевая кость, локтевая и лучевая, кости запястья, кисти, пальцев; задние лапы — бедренная кость, большая и малая берцовые (на коленном суставе чашечка), в предплюсне — пяточная кость, кости стопы, кости пальцев (рисунок 57).

Мышцы. Наиболее сильные жевательные мышцы, мышцы спины и конечностей. Имеется диафрагма — мышца, участвующая в дыхательном движении, разделяющая полость тела на грудной и брюшной отделы. Развиты мимические мышцы.

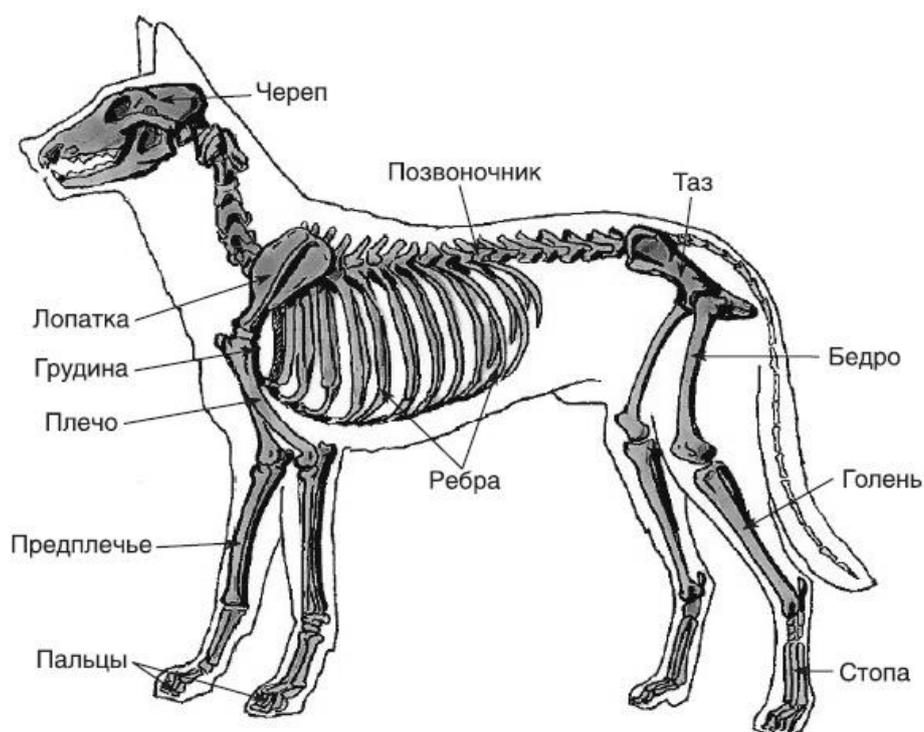


Рисунок 57 — Скелет собаки

Пищеварительная система млекопитающих характеризуется особенностями строения в зависимости от характера пищи. Собака является хищником и пищу она схватывает зубами, которые дифференцированы на резцы, клыки и коренные. Вкус пищи определяется вкусовыми сосочками языка. В ротовую полость открываются проток и слюнных желез. Слюна не только смачивает измельченную зубами пищу, но и частично ее переваривает. Через глотку и пищевод пищевая кашица поступает в желудок, в стенках которого расположены многочисленные железы, выделяющие пищеварительный сок. Далее пища поступает в кишечник. В тонком отделе кишечника пища полностью расщепляется под действием пищеварительных соков кишечника, поджелудочной железы и печени. Не переваренные остатки поступают в толстый отдел кишечника, где обезвоживаются и за-

тем через анальное отверстие выводятся наружу (рисунок 58).

Дыхательная система состоит из носовой полости, состоящей из преддверия, дыхательного и обонятельного отделов, гортани (с голосовыми связками), трахеи, двух бронхов и легких (состоят из бронхиол и альвеол). Дыхательные движения с помощью грудной клетки и диафрагмы. Дыхание частое, неглубокое, поэтому теплоотдача осуществляется путем охлаждения поверхности верхних дыхательных путей, ротовой полости и языка.

Кровеносная система. Сердце четырехкамерное. Имеется два круга кровообращения. От левого желудочка отходит только левая дуга аорты, от которой ответвляются артерии. Число сокращений сердца — 120 ударов в минуту.

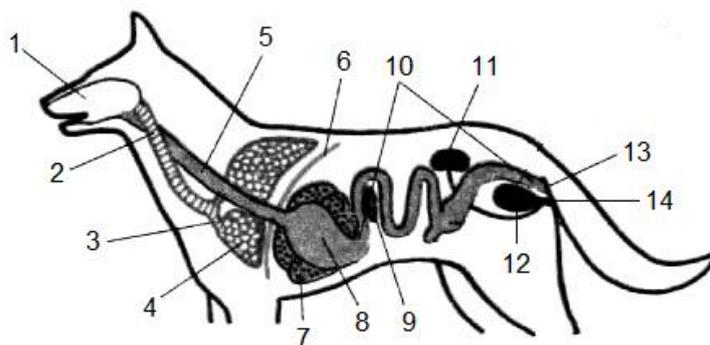


Рисунок 58 — Пищеварительная, выделительная и дыхательная системы собаки:

1 — ротовая полость, 2 — трахея, 3 — бронхи, 4 — легкое, 5 — пищевод, 6 — диафрагма, 7 — печень, 8 — желудок, 9 — поджелудочная железа, 10 — кишечник, 11 — почка, 12 — мочевой пузырь, 13 — анальное отверстие, 14 — выделительное отверстие

Выделительная система представлена парными тазовыми почками бобовидной формы, мочеточниками, мочевым пузырем и мочеиспускательным каналом. Избыток минеральных солей и мочевины выделяются также потовыми железами кожи.

Нервная система собаки, как и других видов позвоночных, состоит из головного и спинного мозга и отходящих от них нервов. Головной мозг состоит из пяти отделов; кора больших полушарий переднего отдела мозга является центром высшей нервной деятельности. В ней имеются борозды, увеличивающие поверхность коры. Средний мозг невелик и отличается наличием четверохолмия (передние доли — зрительные, задние — слуховые). Хорошо развит мозжечок.

Органы чувств. Хорошо развиты органы обоняния, осязания и слуха. Наиболее важным органом чувств является обоняние. Органы слуха представлены наружным, средним (с тремя слуховыми косточками) и внутренним ухом. Цветовое зрение не развито, но улавливаются позы, мимика, движения. Функцию органов осязания выполняет волосяной покров. Особенно чувствительны длинные жесткие волосы — вибриссы, расположенные на щеках, губах, подбородке и бровях.

Размножение и развитие. Половая система млекопитающих имеет особенности, связанные с живорождением. Размножение половое. Оплодотворение внутреннее. Развитие прямое и происходит в матке. Зародыши собаки развиваются в течение 2 месяцев. Собака рождает от 4 до 10 щенков, покрытых шерстью, слепых, не имеющих зубов. Детеныши выкармливаются молоком, быстро растут. Зрелость наступает в 12–15 мес. Срок жизни собаки составляет 12–15 лет.

Класс Млекопитающие делится на два подкласса — Первозвери (или Яйцекладущие) и Настоящие звери (или Живородящие).

Представители подкласса Первозвери распространены в основном в Австралии. Некоторые из них ведут полуводный образ жизни (утконос), другие — наземный (ехидна, живет в норах, питается насекомыми). Размножаются, откладывая яйца, которые насиживают (утконос) или вынашивают в выводковой сумке (ехидна).

Подкласс Настоящие звери подразделяется на 16 отрядов. Наиболее часто встречаются представители следующих отрядов: Сумчатые (кенгуру, коала, сумчатый волк), Насекомоядные (землеройки, бурозубки, кроты, ежи), Рукокрылые (летучие мыши, крыланы, летучие собаки и др.), Грызуны (мыши, крысы, суслики, белки и др.), Хищные (медведь, куница, собака, кошка и др.), Ластоногие (моржи, тюлени, морские котики), Китообразные (киты, кашалоты, дельфины), Парнокопытные (бегемоты, свиньи, жирафы, антилопы, рогатый домашний скот и др.), Непарнокопытные (носороги, лошади, зебры, ослы и др.), Хоботные (слоны), Приматы (мартишки, гиббоны, человекообразные обезьяны, человек).

Значение млекопитающих состоит в том, что они активно участвуют в круговороте веществ, распространяют плоды и семена растений. В жизни человека они служат в качестве транспортного средства, сырья для получения лекарств; используются также их мех и кожа. Млекопитающие, особенно домашние животные, дают ценные продукты питания. Они служат экспериментальными животными, имеют большое эстетическое значение. Экономический ущерб хозяйству наносят мышевидные грызуны, а также хищники, которые уничтожают домашних животных. Млекопитающие могут быть источником ряда опасных заболеваний человека.

Тема 39. Общий обзор организма человека

Анатомия, физиология и гигиена как науки. Ведущая роль в изучении внешнего и внутреннего строения организма человека, а также его функций и процессов жизнедеятельности принадлежит таким наукам как анатомия, физиология и гигиена.

Анатомия — это наука, которая изучает форму и строение организма, его органов и систем. Современная анатомия использует множество разнообразных методов исследования:

— *методы вскрытия и препарирования* позволяют изучить строение человека;

— *сравнительно-анатомический метод* основан на сравнении строения животных и человека;

— *антропометрический метод* основан на измерении различных органов и частей тела;

— *микроскопический метод* позволяет изучить структуры органов и тканей с использованием микроскопа;

— *рентгеноскопический и рентгенографический методы* дают возможность исследовать на живом организме форму, строение и функциональные особенности внутренних органов;

— *ультразвуковое исследование и компьютерная томография* позволяют исследовать внутреннее послойное строение органов живого человека.

Физиология человека изучает функции и процессы жизнедеятельности организма, его тканей, органов, систем органов и механизмы их регуляции. Для изучения функций организма применяют различные методы. Работу органов при различных условиях изучают методом наблюдения с использованием различных приборов, а также химическими методами, которые позволяют изучать молекулярные механизмы физиологических процессов. Большое значение в физиологии имеют экспериментальные методы.

Гигиена исследует влияние условий жизни и труда на организм человека и его здоровье. Задачи гигиены заключаются в предупреждении заболеваний и создании благоприятных условий труда и быта человека. Знания гигиены помогают сохранить здоровье и работоспособность человека, способствуют увеличению продолжительности жизни.

Ткани, их классификация и принципы организации. Все живые организмы на нашей планете имеют общие особенности строения и функционирования, связанные с единством их происхождения. Основой строения и развития человека и животных является клетка — элементарная структурная и функциональная единица всего живого. Клетки организма в процессе его жизнедеятельности постоянно размножаются, в результате чего идет их обновление. Различные группы клеток выполняют разные функции, образуя ткани. **Ткань** — это совокупность клеток и межклеточного вещества, сходных по строению, происхождению и выполняемым функциям. В организме человека выделяют четыре основных типа тканей: **эпителиальную, нервную, мышечную и соединительную.**

Эпителиальная ткань содержит мало межклеточного вещества, клетки эпителия (*эпителиоциты*) плотно прилегают друг к другу, образуя пласт, располагаясь в один или несколько слоев на базальной мембране, отделяющей эпителий от соединительной ткани. Базальная мембрана представляет собой комплекс веществ белковой и полисахаридной природы, которые определяют структуру эпителиальной ткани и обеспечивают

питание клеток эпителия. По выполняемым функциям можно выделить **покровный эпителий**, который покрывает тело и выстилает его полости и внутренние органы (слизистая оболочка кишечника, желудка, дыхательных путей и др.) и **железистый эпителий**, образующий большинство желез (щитовидную, потовые, печень и др.). Также выделяют **мерцательный эпителий**, клетки которого снабжены ресничками. Этот вид эпителиальной ткани выстилает полости некоторых внутренних органов (эпителий носовой полости). По форме клеток, составляющих эпителиальную ткань можно выделить: *плоский, кубический, цилиндрический, призматический* эпителий; по количеству слоев клеток, лежащих на базальной мембране выделяют *однослойный и многослойный* эпителий (рисунок 59).

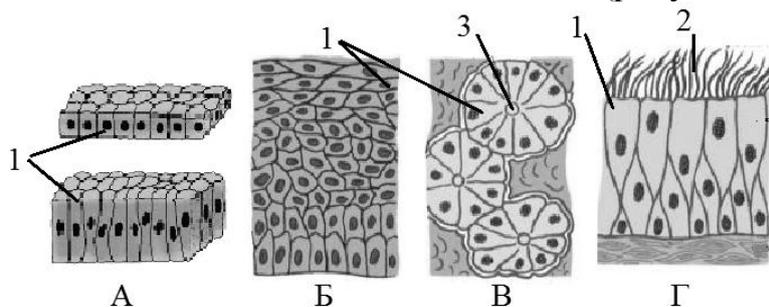


Рисунок 59 — Разновидности эпителиальной ткани: А — однослойный эпителий; Б — многослойный эпителий; В — железистый эпителий; Г — мерцательный эпителий. 1 — эпителиальная клетка; 2 — реснички мерцательного эпителия; 3 — проток железы

Эпителиальная ткань в организме человека выполняет следующие функции:

- *защитная* (защита подлежащих структур от механических повреждений, инфекций, потери тепла и влаги);
- *участие в обмене веществ* (всасывание питательных веществ (эпителий кишечника), выделение продуктов обмена, газообмен (эпителий легких));
- *секреторная* (выделение секрета либо во внешнюю среду, либо непосредственно в кровь или лимфу — гормоны).

Нервная ткань образует спинной и головной мозг, нервные узлы и нервы. Нервная ткань обладает важными свойствами — **возбудимостью и проводимостью**. **Возбудимость** — это способность нервной ткани воспринимать раздражения и отвечать на них. **Проводимость** — способность нервной ткани передавать возбуждение. Нервная ткань состоит из нервных клеток — *нейронов* и межклеточного вещества — *нейроглии*, которая выполняет питательную, опорную и защитную функции.

Структурно-функциональной единицей нервной ткани является нейрон. Основная функция нейрона — получение, переработка и передача возбуждений, закодированных в виде электрических или химических сигналов. В нейроне обычно различают тело и отходящие от него отростки (рисунок 60):

- *аксон* как правило один длинный, маловетвящийся отросток (может достигать в длину 1 метра).
- *дендриты* — несколько коротких ветвящихся отростков. По денд-

ритам нервный импульс приносится к телу нейрона, а по аксонам нервный импульс направляется от нервной клетки к другим нервным клеткам и рабочим органам (дендрит → тело → аксон).

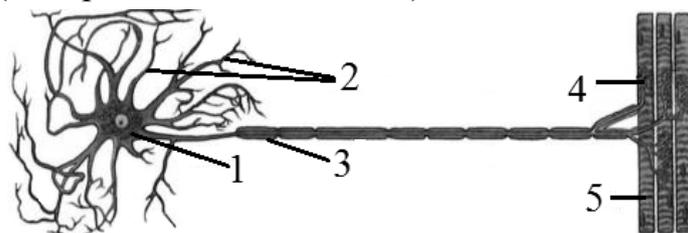


Рисунок 60 — Схема строения нейрона:

1 — тело нейрона; 2 — короткие отростки; 3 — длинный отросток; 4 — контакты нейрона с мышечными волокнами; 5 — мышца

Нейроны связаны между собой с помощью множества межклеточных контактов — **синапсов**. Синапсы выполняют функцию передачи нервного импульса от одного нейрона к другому. В синапсах происходит преобразование электрических контактов в химические и обратно.

Нервная ткань в организме человека обладает следующими функциями:

— *рецепторная* — восприятие раздражения из внешней или внутренней среды;

— *проводящая* — проведение нервного импульса.

Мышечная ткань состоит из мышечных клеток — *миоцитов*, которые обладают способностью к сокращению, обеспечивая тем самым движение тела человека. Мышечная ткань входит в состав опорно-двигательной системы, стенок некоторых внутренних органов (желудок, мочевого пузыря), кровеносных и лимфатических сосудов. Главными свойствами мышечной ткани являются **возбудимость**, **сократимость** и **проводимость**. **Возбудимостью** называют способность мышечной ткани отвечать на раздражение. **Сократимость** — это способность мышечных волокон укорачиваться и удлиняться (сокращаться). **Проводимость** — свойство мышечной ткани проводить возбуждение. Различают гладкую и поперечнополосатую мышечные ткани. Поперечнополосатая в свою очередь делится на скелетную и сердечную (рисунок 61).

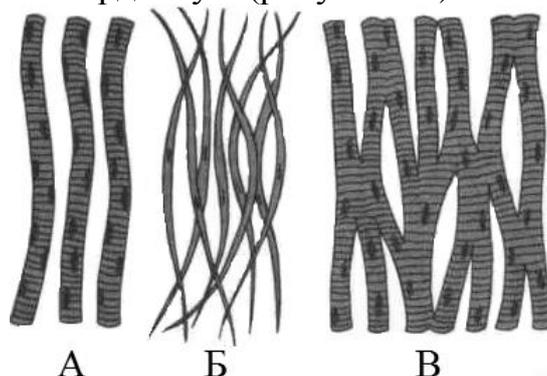


Рисунок 61 — Разновидности мышечной ткани:

А — поперечнополосатая скелетная; Б — гладкая; В — поперечнополосатая скелетная

Гладкая мышечная ткань состоит из отдельных вытянутых клеток, в которых имеется одно ядро и сократительные волокна — **миофибриллы**. Она входит в состав мышц, расположенных в стенках кровеносных сосудов, внутренних органов (желудок, кишечник, мочевого пузыря и др.). Сокращения гладкой мышечной ткани непроизвольные (не подчиняются сознанию человека), медленные, ритмичные. Гладкая мышечная ткань устойчива к утомлению и быстро регенерирует. При сокращениях этой ткани происходит передвижение пищевых масс по пищеварительному тракту, сужение просвета кровеносных и лимфатических сосудов.

Поперечнополосатая скелетная мышечная ткань является многоядерной. Она состоит из мышечных волокон длиной 10–12 см. Разные участки мышечных волокон под микроскопом преломляют свет неодинаково, имеются светлые и темные диски, которые и определяют название данного типа ткани. Поперечнополосатая мышечная ткань образует мускулатуру скелета, мышцы языка, глотки, диафрагму и др. Сокращается произвольно, с высокой скоростью и большой силой, быстро утомляется.

Поперечнополосатая сердечная мышечная ткань входит в состав только мышечной стенки сердца (**миокарда**). Между клетками этой ткани имеются специальные контакты — **нексусы**, благодаря которым происходит очень быстрая передача возбуждения от одной клетки к другой. Это позволяет одновременно сокращаться всем клеткам миокарда. Сердечная мышца, как и гладкая мышечная ткань, сокращается непроизвольно и никогда не утомляется.

Соединительная ткань располагается между внутренними органами и другими тканями. Клетки соединительных тканей расположены рыхло, между ними имеется большое количество межклеточного вещества, состоящего из волокон и основного вещества. Выделяют твердые и жидкие соединительные ткани. К твердым относятся: *костная, хрящевая* ткань, *связки, сухожилия*. Жидкие соединительные ткани — это прежде всего *кровь* и *лимфа*. Соединительные ткани в организме человека выполняют множество важных функций:

- *трофическая (питательная)*;
- *участие в обмене веществ*;
- *защитная и опорная*;
- *кроветворная и иммунная*.

Органы и системы органов. Различные ткани организма человека образуют органы, которые в свою очередь объединяются и образуют системы органов. **Орган** — это часть организма, которая имеет постоянное строение и выполняет определенную функцию (сердце, почки, легкие, желудок и др.). Каждый орган состоит из нескольких типов тканей, которые связаны друг с другом. Все органы имеют нервы, кровеносные и лимфатические сосуды. **Система органов** — это группа органов, которые выпол-

няют определенную функцию. В организме человека выделяют следующие системы органов: *опорно-двигательную, нервную, эндокринную, кровеносную, дыхательную, пищеварительную, выделительную, половую*. Все органы и системы органов связаны между собой в единое целое — организм.

Тема 40. Общие принципы организации нервной системы

В организме человека работа всех его органов тесно связана между собой, и поэтому организм функционирует как единое целое. Особо важную роль в согласованной работе всех внутренних органов играет нервная система, которая выполняет следующие функции:

- *регулирует процессы жизнедеятельности организма человека;*
- *объединяет организм в единое целое;*
- *обеспечивает связь организма человека с окружающей средой;*
- *определяет психическую деятельность человека.*

Деятельность нервной системы носит рефлекторный характер. **Рефлекс** — это ответная реакция организма на раздражение, протекающая при участии нервной системы. В ответ на раздражение нервная ткань переходит в состояние возбуждения, которое представляет собой нервный процесс, вызывающий или усиливающий деятельность органа. Это свойство нервной ткани называется **возбудимостью**. Свойство нервной ткани передавать возбуждение называется **проводимостью**.

Нервная система образована нервной тканью. Структурно-функциональной единицей нервной ткани является нервная клетка — **нейрон** (см. рисунок 60). Нейрон имеет тело и отростки. Длинные неветвящиеся отростки, передающие возбуждение от нервной клетки называются **аксоны**, а короткие ветвящиеся, по которым нервный импульс передается к телу нервной клетки — **дендриты**. Тела нейронов расположены в спинном и головном мозге, а также в нервных узлах. Скопления тел нервных клеток образуют серое вещество спинного и головного мозга, а скопления отростков нервных клеток — белое вещество и нервы. В зависимости от количества отростков можно выделить следующие виды нейронов:

- *униполярные* — имеют один отросток;
- *биполярные* — имеют два отростка;
- *мультиполярные* — имеют три и более отростка.

По выполняемым функциям выделяют три группы нейронов:

- *чувствительные* — служат для восприятия раздражений из внешней или внутренней среды и передачи их в центральную нервную систему;
- *вставочные* — находятся в центральной нервной системе и обеспечивают переработку и передачу нервных импульсов;
- *двигательные* — служат для передачи нервных импульсов от центральной нервной системы к рабочим органам.

Нейроны связаны между собой с помощью множества межклеточных

контактов — *синапсов*, передающих импульс от одного нейрона к другому. В синапсах происходит преобразование электрических контактов в химические и обратно.

Нервную систему по анатомическому положению можно разделить на две части: *центральную нервную систему (ЦНС)*, и *периферическую*. Центральная нервная система включает в себя головной и спинной мозг, периферическая нервная система состоит из нервов, нервных узлов (ганглиев), нервных сплетений и рецепторов.

По выполняемым функциям выделяют *соматическую* и *вегетативную (автономную)* нервную систему. Соматическая нервная система регулирует работу скелетных мышц, а вегетативная — работу внутренних органов (сердце, желудок, печень, легкие и т. д.), кровеносных сосудов, желез. В свою очередь вегетативную нервную систему подразделяют еще на два отдела: *симпатический* и *парасимпатический*. Симпатическая и парасимпатическая нервные системы, как правило, оказывают противоположное действие на работу органов. Так, например, симпатическая нервная система учащает ритм и увеличивает силу сердечных сокращений, а парасимпатическая замедляет ритм и уменьшает их силу.

Строение и функции спинного мозга. Рефлекс

Спинной мозг располагается в позвоночном канале и представляет собой округлый тяж длиной 40–45 см и толщиной около 1 см. В верхней части спинной мозг переходит в продолговатый отдел головного мозга, а в нижней части спинной мозг оканчивается на уровне 2-го поясничного позвонка. На передней и задней поверхности спинного мозга имеются продольные борозды, которые делят спинной мозг на правую и левую половины. В центре спинного мозга находится полость — *спинномозговой канал*, заполненный жидкостью. Спинной мозг покрыт тремя оболочками. Снаружи находится *твердая оболочка*, к ней примыкает *паутинная оболочка*, а внутренняя оболочка — *сосудистая*. Сосудистая оболочка спинного мозга богата кровеносными сосудами, которые проникают внутрь мозгового вещества и обеспечивают транспорт питательных веществ и продуктов обмена.

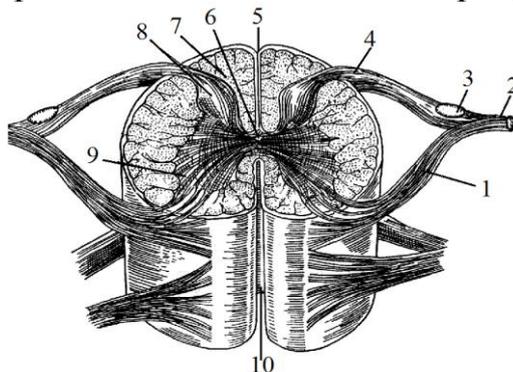


Рисунок 62 — Поперечный разрез спинного мозга:

1 — передний корешок; 2 — смешанный спинномозговой нерв; 3 — спинномозговой узел; 4 — задний корешок; 5 — задняя продольная борозда; 6 — спинномозговой канал; 7 — бе-

лое вещество; 8 — задние рога; 9 — передние рога; 10 — передняя продольная борозда

На поперечном разрезе спинного мозга видно, что он состоит из двух слоев (рисунок 62). В центре расположено *серое вещество*, которое имеет вид бабочки. Это скопления тел нервных клеток. В сером веществе на всем протяжении спинного мозга заметны выступы, идущие к передней и задней поверхности спинного мозга. Короткие и широкие выступы, направленные к передней поверхности мозга, называются *передними рогами*. Более длинные и узкие выступы, идущие в противоположном направлении — *задние рога*. В грудных сегментах спинного мозга между передними и задними рогами располагаются *боковые рога*. Наружный слой спинного мозга представлен белым веществом, которое состоит из отростков нервных клеток, образующих восходящие и нисходящие проводящие пути. От спинного мозга отходит 31 пара спинномозговых нервов. Каждый нерв состоит из двух корешков: *переднего* и *заднего*. Передние корешки представляют собой отростки двигательных нейронов, которые передают нервные импульсы от ЦНС к рабочим органам. Задние корешки — это отростки чувствительных нейронов, передающих нервные импульсы от рецепторов к ЦНС. Спинной мозг имеет сегментарное строение (всего 31 сегмент). *Сегмент* — это участок спинного мозга, имеющий два передних и два задних корешка.

Спинной мозг выполняет две основные функции:

— *рефлекторную* — осуществление простейших двигательных рефлексов (сгибание и разгибание конечностей, отдергивание руки, коленный рефлекс);

— *проводниковую* — спинной мозг передает нервные импульсы по проводящим путям к вышележащим отделам нервной системы.

В спинном мозге расположены центры всех двигательных произвольных (протекающих без участия сознания человека) рефлексов, таких как коленный рефлекс, рефлексы рецепторов кожи, мочеиспускательный рефлекс и другие. **Рефлекс** — это ответная реакция организма на раздражение, протекающая при участии нервной системы. Путь, по которому проходят нервные импульсы от рецептора к рабочему органу при осуществлении рефлекса, называется *рефлекторной дугой*. В состав рефлекторной дуги входят 5 основных элементов: 1 — рецептор, 2 — чувствительный (центростремительный) нерв, 3 — нервный центр (участок ЦНС), 4 — двигательный (центробежный) нерв, 5 — рабочий орган (рисунок 63). В нервных центрах могут располагаться вставочные нейроны, которые обеспечивают передачу нервных импульсов с чувствительных нейронов на двигательные.

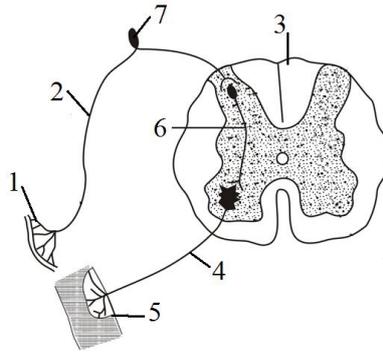


Рисунок 63 — Схема рефлекторной дуги: 1 — рецептор; 2 — чувствительный нерв; 3 — нервный центр (спинной мозг); 4 — двигательный нерв; 5 — рабочий орган; 6 — вставочный нейрон; 7 — спинномозговой ганглий

Любой рефлекс начинается с раздражения рецепторов. Они приспособлены к восприятию определенных раздражений. В рецепторах происходит преобразование энергии раздражителя в нервные импульсы. От рецепторов по чувствительным нервным волокнам импульсы доставляются к телу чувствительного нейрона, который располагается в спинномозговом нервном узле (ганглии). После этого в соответствующих отделах центральной нервной системы за счет вставочных нейронов происходит переключение возбуждения на двигательный нейрон. От него по двигательному нервному волокну нервный импульс направляется к рабочему органу. Осуществление рефлекса возможно только при условии целостности всех элементов, составляющих рефлекторную дугу.

Строение и функции головного мозга

Головной мозг располагается в мозговом отделе черепа, кости которого защищают его от механических повреждений. Масса головного мозга составляет от 1100 до 2000 г. Головной мозг состоит из пяти отделов: *передний, промежуточный, средний, задний (мозжечок и варолиев мост) и продолговатый* (рисунок 64).

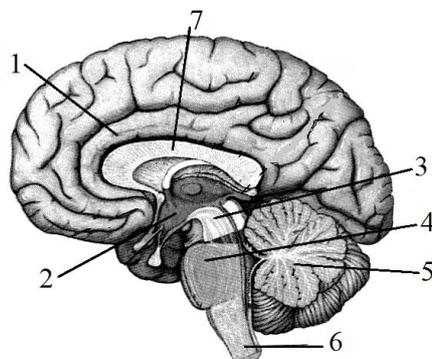


Рисунок 64 — Продольный разрез головного мозга:

1 — большие полушария переднего мозга; 2 — промежуточный мозг; 3 — средний мозг; 4 — варолиев мост; 5 — мозжечок; 6 — продолговатый мозг; 7 — мозолистое тело

Продолговатый мозг соединяет головной мозг со спинным. Он образо-

ван белым веществом, внутри которого лежат ядра серого вещества. В продолговатом мозге расположены центры регуляции дыхания (центры вдоха и выдоха), сердечно-сосудистой деятельности, центры пищеварительных рефлексов (слюноотделения, отделения желудочного и поджелудочного сока, жевания, глотания, сосания и др.), а также центры многих защитных рефлексов (чихания, кашля, рвоты и др.). Кроме этого продолговатый мозг выполняет проводниковую функцию, осуществляя передачу нервных импульсов от спинного мозга в головной и в обратном направлении.

Задний мозг включает в себя 2 отдела: *варолиев мост* и *мозжечок*. Через **варолиев мост** проходят нервные пути, которые связывают передний и средний мозг с продолговатым и спинным мозгом. **Мозжечок** располагается над продолговатым мозгом и состоит из двух полушарий. Снаружи полушария мозжечка покрыты корой, состоящей из серого вещества. Внутри мозжечка располагается белое вещество. Главными функциями мозжечка являются: координация движений, сохранение равновесия и позы тела, регуляция мышечного тонуса.

Средний мозг находится между варолиевым мостом и промежуточным мозгом. Он состоит из *четверохолмия* и *ножек мозга*. В среднем мозге находятся ядра серого вещества, которые являются первичными центрами зрения и слуха. Так же средний мозг обеспечивает мышечный тонус и положение тела человека.

Промежуточный мозг расположен над средним мозгом и под большими полушариями переднего мозга. Он состоит из *зрительных бугров (таламус)* и *подбугорной области (гипоталамус)*. Промежуточный мозг связывает все рецепторы нашего организма с корой больших полушарий. В промежуточном мозге находятся центры, которые регулируют все виды обмена веществ (белковый, жировой, углеводный), температуру тела, работу желез внутренней секреции, постоянство внутренней среды организма. Кроме того в промежуточном мозге находятся центры насыщения, голода и жажды.

Передний мозг является высшим центром нервной системы. Это самый крупный отдел мозга, он состоит из *больших полушарий* и *мозолистого тела*. Большие полушария снаружи покрыты серым веществом — *корой*. Под корой находится белое вещество. Кора больших полушарий имеет борозды (углубления) и извилины (складки). Борозды делят каждое полушарие головного мозга на доли: *лобную, теменную, затылочную* и *височную* (рисунок 65). *Лобная доля* отвечает за планирование, координацию и управление произвольными движениями. В лобной доле также находятся центры, участвующие в формировании личностных качеств и психической деятельности человека. В *теменной доле* находятся центры, которые отвечают за кожное и мышечное чувство (болевая, температурная, тактильная чувствительность). В *затылочной доле* находится зрительная зона, которая

воспринимает сигналы от зрительного анализатора и формирует зрительные образы. В *височной доле* находятся слуховая, обонятельная и вкусовая сенсорные зоны.

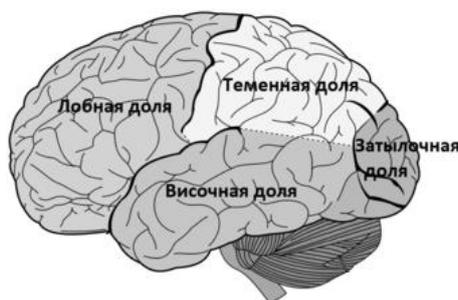


Рисунок 65 — Доли больших полушарий головного мозга

Нервную систему человека условно можно разделить на *соматическую* и *вегетативную*. Часть нервной системы, которая отвечает за работу скелетных мышц, называется *соматической*. **Вегетативная нервная система** регулирует работу гладких мышц, внутренних органов (сердца, кровеносных сосудов, желудка). По строению и функциям вегетативную нервную систему делят на *симпатический* и *парасимпатический* отделы. Симпатический отдел вегетативной нервной системы имеет центральную и периферическую части. Центральная часть симпатического отдела представлена телами нейронов боковых рогов серого вещества спинного мозга. Периферическая часть образована парными симпатическими стволами (цепочками), которые находятся по бокам от позвоночника. От этих стволов отходят нервные ветви ко всем органам. Парасимпатический отдел, подобно симпатическому, состоит из центральной и периферической части. Центральная часть парасимпатического отдела образована телами нейронов, расположенных в среднем, продолговатом и спинном мозге. Отростки этих нейронов идут к внутренним органам и регулируют их работу.

К каждому внутреннему органу подходят симпатические и парасимпатические нервные волокна. Они оказывают противоположное влияние на функции внутренних органов. Так, например, симпатические нервы ускоряют и усиливают работу сердца, снижают двигательную активность кишечника, приводят к расслаблению желчного пузыря и бронхов. Парасимпатические нервные волокна наоборот уменьшают частоту и силу сокращений сердца, усиливают сокращения кишечника, желчного пузыря и бронхов.

Тема 41. Опорно-двигательная система

Движение — это основная форма активности человека при его взаимодействии с окружающей средой. Основную роль при этом играет **опорно-двигательная система** — это совокупность костей, связок, сухожилий

и мышц, обеспечивающих перемещение тела и его частей в пространстве.

Опорно-двигательная система человека состоит из *пассивной* и *активной* части. *Пассивная* часть представлена костной системой, которая состоит из костей и их соединений. *Активная* часть образована скелетными мышцами, которые крепятся к костям.

Совокупность всех костей тела, соединенных между собой образует *скелет*. Всего в организме человека насчитывается более 200 костей. Скелет служит опорой тела, кости скелета защищают внутренние органы от повреждений (кости черепа защищают головной мозг, кости грудной клетки защищают сердце, легкие и другие органы). Кости также являются источником минеральных веществ и принимают участие в обменных процессах. В костях находится красный костный мозг, который участвует в кроветворении и иммунной защите организма.

Скелет человека подразделяют на *осевой* и *добавочный*. В состав осевого скелета входят: *череп*, *позвоночный столб* и кости *грудной клетки*. Добавочный скелет представлен костями *верхней* и *нижней конечностей* (рисунок 66).

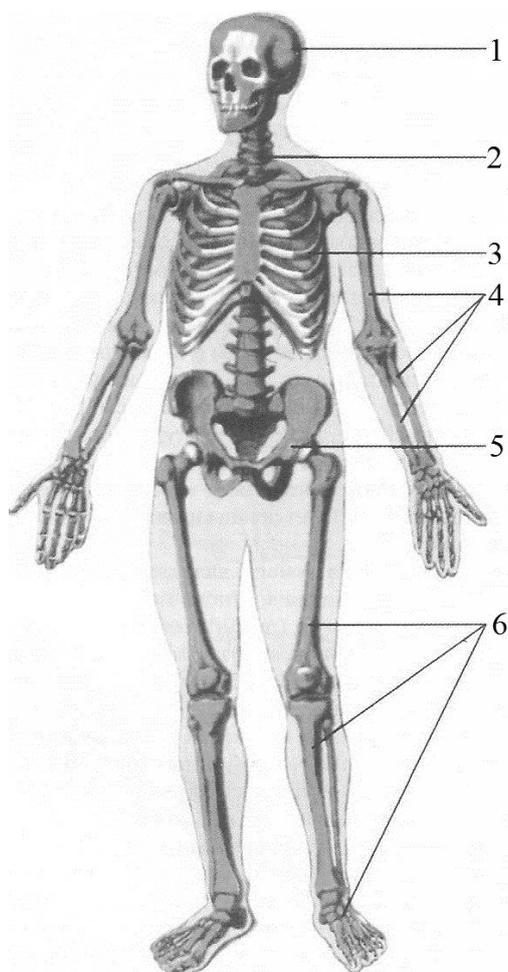


Рисунок 66 — Скелет человека: 1 — череп; 2 — позвоночный столб; 3 — грудная клетка; 4 — кости верхней конечности; 5 — тазовые кости; 6 — кости нижней конечности

Строение костей

Каждая кость скелета является живым, постоянно функционирующим органом. Кость образована костной тканью, состоящей из костных клеток (*остеоцитов*) и плотного межклеточного вещества. Кости имеют сложный химический состав. Около 70 % от массы сухой кости составляют неорганические вещества. Прежде всего это карбонаты и фосфаты кальция, магния и других элементов. Органические вещества составляют около 30 % от массы кости и представлены, главным образом, белками коллагеном и осеином. Органические вещества придают кости гибкость и эластичность, а неорганические — твердость.

Кости имеют разную форму. Они могут быть *плоскими* (грудина, лопатка, кости черепа), *трубчатыми* (кости плеча, предплечья, бедра, голени) *губчатыми* (надколенник, кости запястья) и *смешанными* (позвонки, кости основания черепа). На продольном распиле трубчатых костей хорошо заметны два вида костного вещества: *компактное* (плотное) и *губчатое* (рисунок 67). Компактное вещество образовано плотно прилегающими костными пластинками. Губчатое вещество состоит из перекладин, образованных межклеточным веществом. Снаружи кость покрыта *надкостницей*, которую пронизывают кровеносные сосуды, питающие кость. В надкостнице имеется много чувствительных нервных окончаний. Внутренний слой надкостницы образован живыми клетками, при делении которых происходит рост кости в толщину.

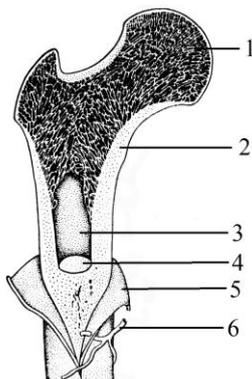


Рисунок 67 — Строение трубчатой кости:

- 1 — губчатое вещество; 2 — компактное вещество; 3 — костномозговая полость;
4 — желтый костный мозг; 5 — надкостница; 6 — кровеносный сосуд

Губчатое вещество располагается на концах трубчатых костей, которые называются *эпифизы*. Средняя часть кости называется *диафизом*. Полость между перегородками губчатого вещества заполнена *красным костным мозгом* — тканью, образующей клетки крови. Внутри диафиза трубчатых костей находится костномозговая полость, заполненная *желтым костным мозгом* — жировая ткань.

Существуют три типа соединения костей: *неподвижное*, *полуподвиж-*

ное, подвижное (сустав) (рисунок 68).

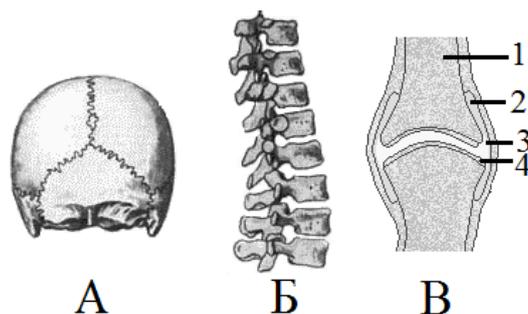


Рисунок 68 — Типы соединения костей:

А — неподвижное; Б — полуподвижное; В — подвижное; 1 — головка кости; 2 — суставная сумка; 3 — суставная полость; 4 — суставная поверхность кости

Неподвижные соединения образуются с помощью швов (кости черепа) или срастания отдельных костей (крестец). При неподвижных соединениях между поверхностями соединяющихся костей располагаются прослойки соединительной ткани. **Полуподвижные соединения** достигаются за счет хрящевых прослоек между соединяющимися костями (соединения тел позвонков друг с другом). **Подвижные соединения (суставы)** включают следующие составные элементы:

1 — *Суставные поверхности* соединяющихся костей, покрытые гиалиновым хрящом. Суставная поверхность одной из костей сустава выпуклая — головка, а суставная поверхность другой кости имеет впадину.

2 — *Суставная сумка (капсула)*, которая герметично соединяет суставные поверхности соединяющихся костей.

3 — *Суставная полость*.

4 — *Суставная (синовиальная) жидкость* заполняет суставную полость, постоянно увлажняет суставные поверхности и уменьшает трение при движении.

Дополнительно сустав укреплен связками, которые ограничивают движение сустава. Нарушение целостности связочного аппарата приводит к вывихам суставов.

По видам движения вокруг осей суставы бывают: одноосные (сгибание-разгибание); двухосные (сгибание-разгибание, приведение-отведение); трехосные (сгибание-разгибание, приведение-отведение, вращение).

Скелет — совокупность твердых тканей в организме, служащих опорой тела или отдельных его частей и защищающих его от механических повреждений. В скелете человека выделяют следующие части:



ЛИЦЕВОЙ ОТДЕЛ ЧЕРЕПА	МОЗГОВОЙ ОТДЕЛ ЧЕРЕПА	ПОЗВОНОЧНЫЙ СТОЛБ	ГРУДНАЯ КЛЕТКА	ПОЯСА КОНЕЧ- НОСТЕЙ	СКЕЛЕТ СВОБОДНОЙ КОНЕЧНОСТИ
----------------------------	-----------------------------	----------------------	-------------------	---------------------------	-----------------------------------

Скелет головы (череп) состоит из мозгового и лицевого отделов. *Мозговой отдел* черепа служитместилищем для головного мозга и органов чувств (равновесия, слуха). Он защищает их от повреждений. Мозговой отдел черепа включает 8 неподвижно соединенных плоских костей. Две из них парные (теменная и височная) и четыре непарные (лобная, затылочная, решетчатая, клиновидная). *Лицевой отдел черепа* является костной основой лица, включает начальные отделы пищеварительной системы и дыхательных путей, также в нем находятся некоторые органы чувств (зрения, вкуса). В состав лицевого отдела черепа входит 15 костей, 6 из них парные (носовая, слезная, небная, скуловая, нижняя носовая раковина, верхняя челюсть) и 3 непарные (сошник, нижняя челюсть, небная). Нижняя челюсть является единственной подвижной костью черепа (рисунок 69).

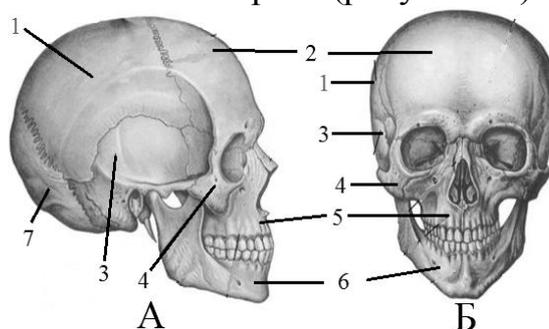


Рисунок 69 — Скелет головы: А — вид сбоку; Б — вид спереди; 1 — теменная кость; 2 — лобная кость; 3 — височная кость; 4 — скуловая кость; 5 — верхняя челюсть; 6 — нижняя челюсть; 7 — затылочная кость

Скелет туловища представлен *позвоночным столбом, грудиной и ребрами*. **Позвоночный столб** образован 33–34 позвонками, в нем различают 5 отделов: *шейный* (7 позвонков); *грудной* (12 позвонков); *поясничный* (5 позвонков); *крестцовый* (5 позвонков); *копчиковый* (4–5 позвонков). Типичный позвонок состоит из тела, дуги и отростков. Тело и дуга позвонка ограничивают позвонковое отверстие. При наложении позвонков друг на друга позвонковые отверстия образуют позвоночный канал, в котором располагается спинной мозг. Размеры позвонков увеличиваются от шейного к поясничному.

У взрослого человека позвоночный столб имеет четыре изгиба: два направлены выпуклостью вперед — *лордозы* (шейный и поясничный), два обращены выпуклостью назад — *кифозы* (грудной и крестцовый). Физиологические изгибы позвоночника смягчают удары и сотрясения тела при ходьбе, беге, прыжках. Кроме физиологических изгибов позвоночный

столб может иметь патологические изгибы (например *сколиозы* — изгибы позвоночника в стороны) (рисунок 70).

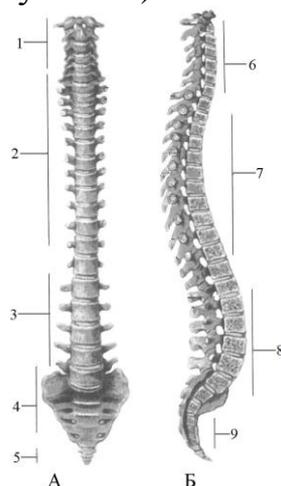


Рисунок 70 — Позвоночный столб: А — вид спереди; Б — вид сбоку;

1 — шейные позвонки; 2 — грудные позвонки; 3 — поясничные позвонки;
4 — крестцовые позвонки (крестец); 5 — копчиковые позвонки; 6 — шейный лордоз;
7 — грудной кифоз; 8 — поясничный лордоз; 9 — крестцовый кифоз

Грудная клетка образуется за счет соединения ребер с позвоночником сзади и грудиной спереди. В ней располагаются жизненно важные органы: сердце, легкие, трахея, пищевод, крупные сосуды и нервы (рисунок 71).

Груди́на — плоская губчатая кость, состоит из рукоятки, тела и мечевидного отростка. В губчатом веществе грудины располагается красный костный мозг. Грудную клетку образуют 12 пар ребер — это плоские, длинные, изогнутые, губчатые кости. Каждое ребро состоит из костной и хрящевой части.

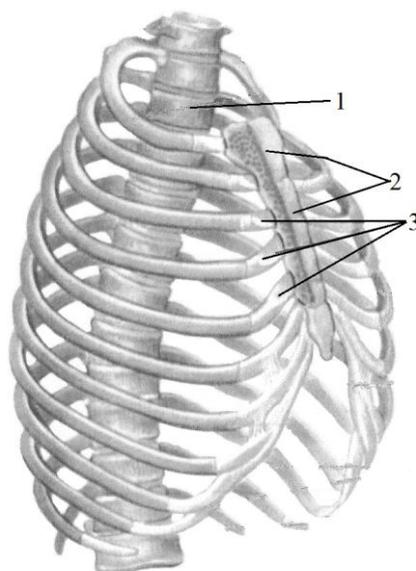


Рисунок 71 — Грудная клетка: 1 — позвоночный столб; 2 — грудина; 3 — ребра

Скелет верхних конечностей представлен *костями плечевого пояса*

и скелетом свободной верхней конечности. Кости плечевого пояса: *ключица, лопатка*. Ключица имеет S-образную форму, тело и два конца. Одним она соединяется с грудиной, другим — с лопаткой. Лопатка — плоская треугольная кость. Она соединяется с ключицей и плечевой костью, образуя плечевой сустав. Скелет свободной верхней конечности образован *плечевой костью*, двумя костями предплечья — *лучевой и локтевой*, костями кисти — *кости запястья, пясти и фаланги пальцев*. Костей запястья 8, они расположены в 2 ряда (по 4 в каждом); костей пясти 5, фаланг пальцев 14.

Скелет нижних конечностей состоит из *пояса нижних конечностей и скелета свободной нижней конечности*. Пояс нижней конечности или тазовый пояс состоит из двух тазовых костей. Каждая тазовая кость состоит из трех сросшихся тазовых костей (*подвздошная кость, лобковая или лонная кость, седалищная кость*). Срастание этих костей происходит к 14–16 годам. Скелет свободной верхней конечности состоит из *бедренной кости*, костей голени — *большеберцовой и малоберцовой; надколенника* и костей стопы — *кости предплюсны, плюсны и фаланги пальцев*. Костей предплюсны 7, костей плюсны 5, фаланг пальцев 14.

Тема 42. Строение и функции мышц

Совокупность всех мышц организма образует *мышечную систему*. В среднем в организме человека насчитывается около 400 скелетных мышц. Мышцы обеспечивают положение тела в пространстве, вместе со скелетом придают телу форму. Сокращения мышц обуславливают движение тела и его частей, сокращение стенок внутренних органов. С деятельностью мышц связаны функции отдельных органов: дыхания, пищеварения, кровообращения. Мышцы гортани и языка участвуют в формировании речи.

Мышечная или мускульная система представляет собой совокупность сократительных элементов мышечной ткани, объединенных в мышцы и связанных между собой соединительной тканью. Мышца — это орган тела, состоящий из мышечной ткани, способный сокращаться под влиянием нервных импульсов. В организме взрослого человека мышцы составляют 40 % от всей массы тела. Мышца как орган имеет специфическую форму, строение и выполняет присущую только ей функцию. В состав мышц входят мышечная ткань, рыхлая и плотная соединительные ткани, сосуды и нервы. Мышца состоит из большого количества расположенных параллельно и собранных в пучки мышечных волокон. Каждое мышечное волокно образовано тонкими нитями — миофибриллами, которые сдержат упорядоченно расположенные тонкие нити сократительных белков *актина* и *миозина*. Благодаря которым и происходит сокращение мышц.

Каждое мышечное волокно покрыто оболочкой из соединительной ткани, которая на концах мышцы переходит в сухожилия. Сухожилия обладают высокой прочностью и обеспечивают прикрепление мышц к костям. Мышцы

хорошо снабжаются кровью, которая доставляет к мышечным клеткам кислород и питательные вещества и удаляет конечные продукты обмена.

Сокращаясь мышцы приводят в движение суставы, обеспечивая перемещение тела и его частей в пространстве. Движение в любом суставе обеспечивается как минимум двумя мышцами, действующими в противоположных направлениях, которые называются **антагонистами** (например, сгибатели и разгибатели). Несколько мышц способны действовать согласованно в одном направлении (сгибание и ли разгибание). Такие мышцы называются **синергистами**.

Мышечная система человека подразделяется на следующие группы мышц:

— *мышцы головы и шеи;*

— *мышцы туловища;*

— *мышцы верхних и нижних конечностей.*

Мышцы головы делятся на мимические и жевательные. *Мимические мышцы* начинаются от костей черепа и вплетаются в кожу. При сокращении вызывают смещение кожи, образование складок и морщин, тем самым определяя мимику лица (позволяют человеку выражать свои эмоции, настроение). Кроме того мимические мышцы принимают участие в формировании речи. Также мимические мышцы участвуют в процессах жевания и дыхания. *Жевательные мышцы* участвуют в акте жевания, при этом поднимают нижнюю челюсть, могут выдвигать челюсть вперед и двигать ее в стороны.

Мышцы шеи в зависимости от глубины их залегания делят на три группы: поверхностные, средние, глубокие. Принимают участие в процессе жевания, в формировании речи, в поворотах и наклонах головы.

Мышцы верхних конечностей (дельтовидная, двуглавая, трехглавая и др.) делятся на мышцы плечевого пояса и мышцы свободной верхней конечности. Основная их функция — движение верхних конечностей. Среди них есть мышцы сгибатели, разгибатели, вращатели, приводящие и отводящие мышцы.

Мышцы туловища делятся на мышцы спины, груди и живота. Все они обеспечивают вертикальное положение туловища, участвуют в формировании стенок грудной клетки, брюшной и тазовой полостей.

Мышцы спины располагаются в два слоя и делятся на поверхностные и глубокие. Поверхностные мышцы спины прикрепляются к костям верхней конечности поэтому основной их функцией является движение плечевого пояса и руки, кроме того они участвуют в акте дыхания. Глубокие мышцы спины располагаются по обеим сторонам позвоночного столба. Выполняют следующие функции: разгибание, наклон, выпрямление позвоночника, поворот, наклон, запрокидывание головы, поддержание тела в вертикальном положении.

Мышцы груди делятся на поверхностные и глубокие. Поверхностные участвуют в движении верхних конечностей, кроме того являются вспомогательными дыхательными мышцами. Глубокие мышцы груди выполняют

только дыхательную функцию. *Диафрагма* — это грудно-брюшная перегородка, отделяющая грудную полость от брюшной, представляет собой мышечно-сухожильную пластинку куполообразной формы. Диафрагма является дыхательной мышцей, при сокращении она опускается, увеличивая объем грудной полости и, тем самым, способствует вдоху; при расслаблении принимает прежнее положение — поднимается, объем грудной клетки при этом уменьшается, происходит выдох.

Мышцы живота располагаются между грудной клеткой и тазом в различном направлении (поперечные, прямые и косые). Формируют стенки брюшной полости, изменяют ее объем, участвуют в дыхании, изменении положения туловища, опорожнении кишечника и других полых органов.

Мышцы нижних конечностей (подвздошно-поясничная, ягодичные, икроножная и др.) делятся на две группы: мышцы таза и мышцы свободной нижней конечности. По аналогии с мышцами верхних конечностей принимают участие в движении конечностей (среди них есть мышцы сгибатели, разгибатели, приводящие, отводящие и т. д.).

В ответ на механические, химические и физические раздражения в мышцах возникает возбуждение и они сокращаются. При сокращении мышц происходит их укорочение и утолщение, а при расслаблении мышца становится тоньше и длиннее. В живом организме мышцы никогда не бывают полностью расслаблены, даже в состоянии покоя они всегда находятся в небольшом напряжении — *тонусе*. Благодаря мышечному тонусу поддерживается устойчивость тела и его равновесие. В работающих мышцах происходит интенсивный обмен веществ. При этом расходуется большое количество энергии. Работа мышц носит рефлекторный характер. К мышцам подходят два вида нервных волокон: центrostремительные и центробежные. По центrostремительным нервным волокнам проходит возбуждение от рецепторов мышц в центральную нервную систему. Центробежные нервные волокна проводят возбуждение от нервной системы к мышце. В результате этого происходит сокращение мышц.

Мышцы не могут работать беспрерывно. При сильных и продолжительных мышечных нагрузках в мышцах происходит накопление продуктов обмена (молочной кислоты), снижение в крови запасов кислорода и питательных веществ. Длительная работа мышц приводит к снижению их работоспособности. Это проявляется в *мышечном утомлении*. Мышечное утомление является нормальным физиологическим процессом. После отдыха работоспособность мышц восстанавливается.

Тема 43. Внутренняя среда организма

Внутренняя среда организма представлена *кровью, лимфой и тканевой жидкостью*. Она обеспечивает связь между клетками организма, имеет постоянный состав и физико-химические свойства. Постоянство внут-

ренной среды является необходимым условием нормальной жизнедеятельности организма и называется гомеостазом.

Тканевая жидкость является промежуточной средой между кровью и клетками организма. Она переносит из крови в клетки органов O_2 питательные вещества, минеральные соли, гормоны. Возвращает в кровяное русло через лимфу воду, продукты диссимиляции. Переносит в кровяное русло CO_2 , выделившийся из клеток.

Состав: Вода, растворенные в ней питательные органические и неорганические вещества, O_2 , CO_2 , продукты диссимиляции, выделившиеся из клеток.

Местонахождение клеток: Промежутки между клетками всех тканей. Объем 20 л (у взрослого человека).

Источник и место образования: За счет плазмы крови и конечных продуктов диссимиляции.

Лимфа выполняет функцию возвращения в кровяное русло тканевой жидкости по грудному и правому лимфатическим протокам, а также фильтрации и обеззараживания тканевой жидкости, которые осуществляются в лимфатических узлах.

Состав: Вода, растворенные в ней продукты распада органических веществ.

Местонахождение: Лимфатическая система, состоящая из лимфатических капилляров, начинающихся мешочками, и сосудов сливающихся в два протока, которые впадают в полые вены кровеносной системы в области шеи.

Источник и место образования: за счет тканевой жидкости, всосавшейся через мешочки на концах лимфатических капилляров

Кровь выполняет следующие функции:

- 1 — доставляет питательные вещества и кислород к клеткам тканей;
- 2 — удаляет продукты метаболизма из клеток тканей;
- 3 — обеспечивает гуморальную регуляцию организма (при помощи гормонов);
- 4 — выполняет защитную функцию (выработка антител и способность к свертыванию);
- 5 — участвует в процессе терморегуляции.

В организме взрослого человека содержится около 5 л крови, или 6–8 % от массы тела.

Кровь состоит из жидкой части — *плазмы крови* (55–60 % от общего объема крови) и *форменных элементов*: **эритроциты** (красные кровяные тельца), **лейкоциты** (белые кровяные тельца), **тромбоциты** (красные пластинки).

Плазма крови — это жидкость желтоватого цвета. Она содержит 92 % воды, 7 % белков (альбумины, глобулины, фибриноген), 0,1 % глюкозы, 0,9 % минеральных солей (мочевой кислоты, NaCl). Плазма крови

имеет слабощелочную реакцию (рН 7,36–7,42), осмотическое давление ее составляет 7,6–8,1 атм. Постоянство осмотического давления плазмы обеспечивает постоянное содержание воды в клетках и, следовательно, постоянство их объема, что является необходимым условием для правильного хода физиологических процессов.

Плазма крови без фибриногена называется **сывороткой**.

Эритроциты — красные безъядерные клетки крови двояковогнутой формы, содержащие белок гемоглобин (четвертичного строения).

Место образования — красный костный мозг

Продолжительность функционирования — 3–4 месяца.

Место отмирания — селезенка. Гемоглобин разрушается в печени, где из него образуются пигменты: билирубин, биливердин, уробилин.

Содержание в 1 мм³ крови — 4,5–5 млн.

Функция — перенос кислорода из легких в ткани и углекислого газа — из тканей в легкие

Форменные элементы крови находятся в плазме во взвешенном состоянии, благодаря непрерывной циркуляции крови в сосудах. Но если кровью заполнить пробирку и оставить стоять, то через некоторое время можно наблюдать оседание эритроцитов, наступающее из-за разной относительной плотности плазмы (1,025) и эритроцитов (1,096). Скорость оседания эритроцитов — СОЭ выражается в миллиметрах высоты столба плазмы над эритроцитами за единицу времени (за 1 час) и равна у женщин 8–12 мм/ч, у мужчин — 5–7 мм/ч. Скорость оседания эритроцитов повышается при беременности, инфекционных заболеваниях, воспалениях и при развитии опухолей.

Гемоглобин представляет собой сложный, богатый железом белок эритроцитов, обладающий сродством с кислородом и образующий в комбинации с ним **оксигемоглобин**. Благодаря этой функции гемоглобина кислород переносится из легких в ткани.

В плазме находятся вещества — **антитела**, которые носят название агглютинины, а в эритроцитах — **антигены** — агглютиногены. Если человеку перелита кровь несовместимой группы, в результате реакции взаимодействия антигена с антителом происходят агглютинация (склеивание) и гемолиз (разрушение) красных кровяных телец.

Поэтому определение группы крови и проведение тестов на совместимость крайне необходимы для обеспечения высокой степени безопасности *при переливании крови*.

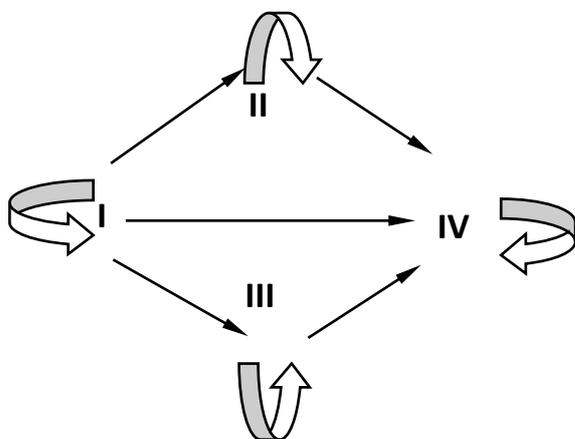
Система К. Ландштейнера (AB0) основана на определении содержания агглютининов и агглютиногенов в крови.

Выделяют следующие группы крови:

Группа крови	Антигены (агглютиногены)	Антитела (агглютинины) в плазме и сыворотке
--------------	--------------------------	---

0(I)	—	α и β
A(II)	A	β
B(III)	B	α
AB(IV)	AB	—

Схема переливания крови различных групп



Доноры крови:

Кровь группы АВ можно перелить группе АВ.

Кровь группы А можно перелить группе А и АВ.

Кровь группы В можно перелить группе В и АВ.

Кровь группы 0 — универсальный донор для всех групп.

Реципиенты:

Группа АВ — универсальный реципиент.

Группе А можно получить кровь от групп А и 0.

Группе В можно получить кровь от групп В и 0.

Группе 0 можно получить кровь от группы 0.

Обычно переливают только одногруппную кровь, однако в экстренных случаях может быть использована кровь универсальных доноров.

Кроме системы АВ0 существуют другие. В частности, система резус (Rh, резус-фактор). Людей, у которых эритроциты несут Rh-антиген, называют Rh-положительными (Rh^+), а тех, у кого этот антиген отсутствует — Rh-отрицательными (Rh^-). Если Rh^- реципиенту случайно перельют кровь Rh^+ -донора, то организм этого человека в течение 2–4 месяцев будет вырабатывать антитела, специфичные к Rh-фактору (Rh-антитела). Если затем в кровеносную систему этого человека снова попадет Rh^+ -кровь, то Rh-антитела вызовут агглютинацию (слипание) Rh^+ -клеток, что имеет важное значение для новорожденных в случаях резус-несовместимости крови плода (Rh^+) и матери (Rh^-).

Лейкоциты — белые кровяные амебообразные клетки, имеющие ядро (цельное или сегментированное). Лейкоциты делятся на две большие

группы: незернистые лейкоциты, или агранулоциты и зернистые лейкоциты, или гранулоциты.

Место образования — красный костный мозг, селезенка, лимфатические узлы.

Продолжительность функционирования — 3–5 дней

Место отмирания — печень, селезенка, а также места, где идет воспалительный процесс.

Содержание в 1мм^3 крови — 6–8 тыс.

Функция — защита организмов от болезнетворных микробов путем фагоцитоза. Вырабатывают антитела, создавая иммунитет.

Фагоцитоз — активный захват и поглощение особыми клетками (**фагоцитами**) чужеродных для данного организма живых и неживых объектов (микроорганизмов, разрушенных клеток, инородных частиц). Фагоцитоз — защитная реакция организма, способствующая сохранению постоянства его внутренней среды.

Фагоцитоз был изучен И. И. Мечниковым (1845–1916 гг.), за что ему в 1908 г. была присуждена Нобелевская премия.

В организме человека фагоцитоз осуществляется лейкоцитами. Поглощая чужеродные объекты, лейкоциты вызывают местную воспалительную реакцию организма.

Тромбоциты — кровяные безъядерные тельца.

Место образования — красный костный мозг.

Продолжительность функционирования — 5–7 дней

Место отмирания — селезенка и места нарушения целостности сосудов.

Содержание в 1мм^3 крови — 300–400 тыс.

Функция — участвуют в свертывании крови при повреждении кровеносного сосуда, способствуя преобразованию белка протромбина в тромбин, а белка фибриногена в фибрин — волокнистый кровяной сгусток.

Свертывание крови — одна из защитных реакций организма при нарушении целостности внешних покровов или при разрыве внутренних органов. Свертывание крови сложный многоступенчатый процесс, который мы рассмотрим лишь в общих чертах ввиду сложности и громоздкости физических и химических процессов. Важно отметить, что процесс свертывания должен проходить лишь тогда, когда действительно появляется угроза потери крови и ни в коем случае не начинаться в целых сосудах, чтобы не вызвать их закупоривание.

1. На первом этапе, при соприкосновении с воздухом, происходит разрушение тромбоцитов и высвобождение содержащихся в нем веществ (факторов).

2. На втором этапе выделившийся **из тромбоцитов** и поврежденных тканей липопротеин **тромбопластин взаимодействует с ионами кальция и ферментами плазмы крови**. Все вместе они воздействуют на содержащийся в крови неактивный белок **протромбин**.

3. **Протромбин** активизируется и **превращается в тромбин**. Тромбин —

фермент, расщепляющий крупную глобулярную молекулу растворимого белка фибриногена.

4. **Фибриноген, находящийся в плазме крови распадается** на относительно короткие полипептидные цепи и из них под воздействием фактора, высвобожденного из тромбоцитов, образуются молекулы нерастворимого фибриллярного белка фибрина.

5. **Сгусток фибрина закупоривает рану**, не позволяя крови вытекать. Кроме того, из тромбоцитов выделяется вещество, активно подавляющее действие гепарина, а также серотонин, вызывающий сужение сосудов, что чисто механически на некоторое время предотвращает активное кровотечение.

Отсутствие или недостаток любого из элементов свертывания крови ведет к тому, что кровь при ранениях либо слабо свертывается, либо не свертывается вообще. Такое состояние носит название **гемофилии**.

Тема 44. Сердечно-сосудистая система

Сердце и его строение

Сердце располагается в грудной полости почти по средней линии тела, за грудиной, несколько влево от нее. Верхняя, расширенная часть сердца, от которой отходят сосуды, называется *основанием*, а нижняя, несколько суженная часть, — *верхушкой*.

Сердце находится в околосердечной сумке — перикарде. Между эпикардом и перикардом имеется замкнутая полость, содержащая незначительное количество жидкости, которая уменьшает трение сердца при его сокращениях.

Сердце состоит из правой и левой половин, в каждой из которых находятся *предсердие* и *желудочек* (рисунок 72). Они сообщаются друг с другом через *двустворчатый* или *митральный* клапан в левой половине сердца, и *трехстворчатый* — в правой.

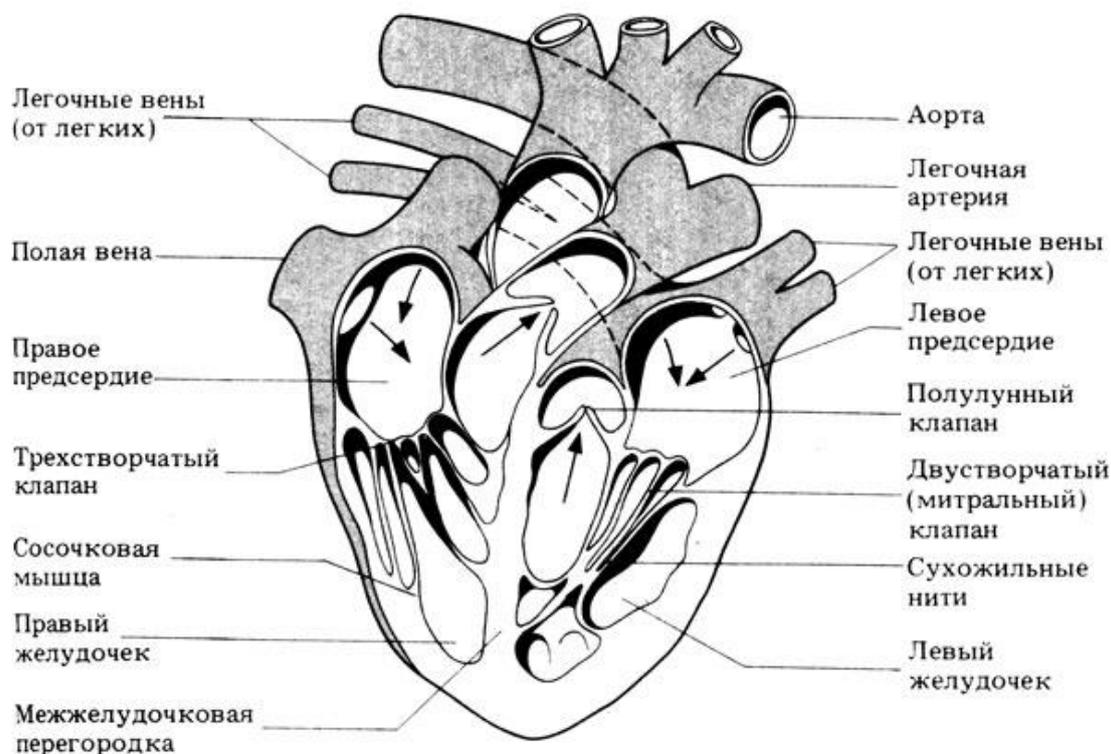


Рисунок 72 — Строение сердца

Мышечная стенка предсердий значительно тоньше и слабее стенки желудочков. Это объясняется тем, что предсердия выполняют менее интенсивную работу по сравнению с желудочками. Особенно большая нагрузка по перемещению крови ложится на левый желудочек. Его мышечная стенка в 2,5 раза толще, чем стенка правого желудочка.

От правого желудочка отходит *легочная артерия*, от левого — *аорта*. Отверстия, от которых начинаются эти сосуды, закрыты *полулунными клапанами*. Они открываются только во время сокращения желудочков.

Работа клапанов сердца обеспечивает однонаправленность кровотока: из предсердий в желудочки, из желудочков в артериальные сосуды, отходящие от сердца.

Сердечный цикл

Деятельность сердца характеризуется чередованием сокращения и расслабления предсердий и желудочков. Сокращение называется *систо-*

лой, а расслабление — *диастолой*. Период, охватывающий одно сокращение и расслабление сердца, называется *сердечным циклом*.

В состоянии покоя у здорового человека один цикл работы сердца длится около 0,8 с, из которых на время сокращения предсердий приходится 0,1 с, на время сокращения желудочков 0,3 с и на период отдыха, — 0,4 с. В состоянии покоя сердце здорового человека сокращается в среднем 60–80 раз в минуту.

В одном цикле работы сердца различают три фазы:

1. Наполненные кровью предсердия сокращаются. При этом кровь через открытые клапаны нагнетается в желудочки сердца (они в это время остаются в состоянии расслабления). Сокращение предсердий начинается с места впадения в него вен, поэтому устья их сжаты и попасть назад в вены кровь не может.

2. Происходит сокращение желудочков с одновременным расслаблением предсердий. Трехстворчатые и двустворчатые клапаны, отделяющие предсердия от желудочков, поднимаются, захлопываются и препятствуют возврату крови в предсердия, а аортальный и легочный клапаны открываются. Сокращение желудочков нагнетает кровь в аорту и легочную артерию.

3. Пауза (диастола). Во время паузы из вен кровь попадает в предсердия и частично стекает в желудочки. Когда начнется новый цикл, оставшаяся в предсердиях кровь будет вытолкнута в желудочки — цикл повторится.

При каждом сокращении сердца левый и правый желудочки выталкивают в аорту и легочную артерию по 60–80 мл крови. Количество крови, выбрасываемой желудочком за одно сокращение, называют *ударным* или *систолическим объемом*. Умножив частоту сердечных сокращений на систолический объем можно вычислить *минутный объем крови*. В состоянии покоя он составляет 4,5–5 л.

Автоматия сердца

Способность сердца сокращаться независимо от внешних воздействий под влиянием импульсов, возникающих в нем самом, называется *автоматией*.

Источником автоматии служат входящие в состав миокарда скопления особых мышечных клеток — водителей ритма, которые генерируют электрические импульсы.

Скопления таких мышечных клеток образуют несколько узлов в различных отделах сердца. В них находятся не только мышечные, но и нервные клетки. Главный узел проводящей системы сердца расположен в месте впадения верхней и нижней полых вен в правое предсердие — *синоатриальный узел*. Именно здесь возникают импульсы, определяющие ритм сердечных сокращений. Под воздействием этих импульсов мышечная ткань сердца сокращается, изгоняя кровь из полостей сердца. Если в силу каких-либо причин в главном узле возбуждение не возникает, роль водителя ритма берет на себя *предсердно-желудочковый узел*, расположенный в толще сердечной перегородки.

Строение и функции кровеносных сосудов

Кровеносные сосуды подразделяются на артерии, капилляры и вены. *Артерии* — сосуды, несущие кровь от сердца к органам и тканям тела. Стенка артерии состоит *из трех слоев*:

наружного — *соединительнотканного*; он придает артериям прочность;

среднего — *мышечного*; расслабление или сокращение слоя гладких мышечных клеток меняет внутренний диаметр сосуда;

внутреннего — *эпителиального*; как и наружный слой, он придает артериям прочность.

Стенки артерий являются толстыми, прочными и упругими. Самая крупная артерия — аорта, от нее отходят артерии, которые делятся на более мелкие, а те, в свою очередь, — на артериолы и капилляры.

Капилляры — тончайшие сосуды, проникающие практически во все органы и ткани организма и образующие в них густую сеть. Стенки капилляров образованы одним слоем эндотелиальных клеток, между которыми имеются узкие щели, через которые вода, ионы, питательные вещества и кислород поступают в тканевую жидкость и далее в клетки, а из клеток в капилляры проходят продукты диссимиляции.

Из капилляров кровь поступает в венулы — мелкие вены. Стенки капилляров и венул имеют сходное строение. Следовательно, функция венул — не только отведение крови от органов, но и участие в обмене веществ между кровью и тканевой жидкостью.

Из венул кровь собирается в более крупные кровеносные сосуды — *вены*, которые несут насыщенную углекислым газом и продуктами обмена веществ кровь (венозную) от органов и тканей к сердцу (исключая легочные вены, которые несут артериальную кровь). Их стенка, как и у артерий, состоит из трех слоев, но она значительно тоньше, поскольку средний слой содержит значительно меньше гладкомышечных клеток и эластичных волокон.

Давление в венах низкое, а стенки более эластичны, поэтому даже значительные изменения объема крови в этих сосудах лишь незначительно сказываются на давлении в них. В просвете вен нижних конечностей имеются полулунные клапаны, препятствующие обратному кровотоку.

Большой и малый круги кровообращения

У млекопитающих, в том числе и у человека, движение крови происходит по двум замкнутым системам сосудов, каждая из которых соединена с сердцем, — большому (системному) и малому (легочному) кругам кровообращения (рисунок 73).

Кровь, циркулирующая по *большому кругу кровообращения*, снабжает все клетки тела кислородом и питательными веществами и обеспечивает выведение из них углекислого газа и других продуктов распада.

Начинается большой круг кровообращения от левого желудочка аортой. Она идет вверх, образуя дугу, и затем спускается вниз вдоль позво-

ночного столба. От дуги аорты под высоким давлением кровь поступает в крупные артерии. По этим артериям кровь идет к голове и верхним конечностям. От нисходящей части аорты отходят артерии к органам грудной и брюшной полостей и к нижним конечностям. В капиллярах внутренних органов происходит газообмен. Насыщенная углекислым газом и продуктами диссимилиации венозная кровь собирается в венулы, затем в вены. Через верхнюю и нижнюю полые вены кровь попадает в правое предсердие. Во всех артериях большого круга течет артериальная кровь, а в венах – венозная.

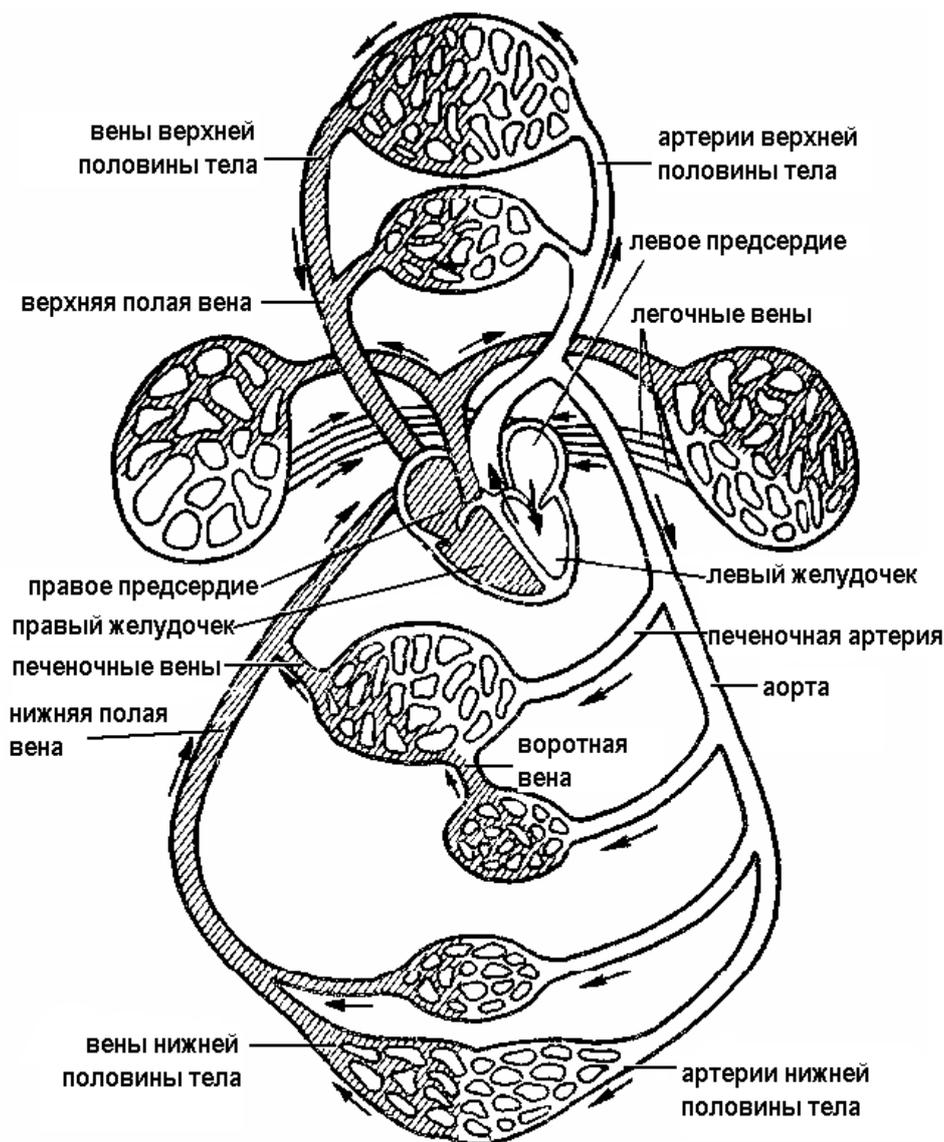


Рисунок 73 — Упрощенная схема кровообращения

Малый круг кровообращения начинается от правого желудочка легочным стволом, который делится на 2 легочные артерии, несущие венозную кровь к легким. Артерии входят в легкие через ворота и распадаются на более мелкие артерии, артериолы, а затем — капилляры. Капилляры густо оплетают стенки альвеол, где происходит газообмен. Насыщенная кислородом ар-

териальная кровь по 4 легочным венам поступает в левое предсердие. В артериях малого круга кровь венозная, в венах — артериальная.

Движение крови по сосудам осуществляется в результате:

- **ритмической работы сердца.** Работа сердца создает и поддерживает разность давления в сосудах. Во время сокращения сердце под давлением выталкивает кровь в артерии;

- **присасывающего действия грудной клетки.** Это действие заключается в том, что во время вдоха давление в ней ниже атмосферного, а в брюшной полости, где находится большая часть крови, выше атмосферного;

- **наличия клапанов в венах;**

- **разности давления в артериальном и венозном отделах обоих кругов кровообращения;**

- **сокращения скелетной мускулатуры, сдавливающей вены.** При сокращении скелетной мускулатуры сдавливаются вены и находящиеся в них клапаны способствуют току крови по направлению к сердцу. В сущности возврат крови в сердце — процесс в основном пассивный. Кровь медленно движется вверх по венам ног отчасти под действием (снизу) кровяного давления, но в основном — под давлением, создаваемым сокращениями мышц ног. При сокращении мышц ног вялые стенки вен сжимаются и проталкивают кровь, находящуюся в венах, по направлению к сердцу. Когда же мышцы расслабляются, имеющиеся в венах клапаны препятствуют движению крови в обратном направлении.

Периодические колебания стенок сосудов, вызванные изменениями давления крови в течение одного сердечного цикла, называются *пульсом*. Пульс можно прощупать в местах, где артерии (лучевая, височная, стопы) проходят в непосредственной близости к коже. Пульс дает представление о скорости, силе и ритме сердечных сокращений, а также о состоянии артерий.

Кровяное давление

В сердце сначала одновременно сокращаются оба предсердия, затем оба желудочка. Кровяное давление в момент сокращения желудочков называется *систолическим давлением*. *Диастолическим* называется минимальное давление в промежутке между сокращениями. Самое высокое давление — в аорте и артериях, отходящих от сердца; затем по мере замедления движения крови вследствие трения о стенки сосудов в процессе кровообращения давление постепенно понижается.

В течение сердечного цикла давление в аорте колеблется от 115–140 мм рт. ст. до 60–85 мм рт. ст. Эти колебания отражают ритмическую деятельность сердца.

Кровяное давление обычно измеряют на плечевой артерии. У здорового человека в нормальном состоянии систолическое давление составляет около 120 мм рт. ст., а диастолическое — около 80 (по принятой форме записи 120/80).

Тема 45. Дыхательная система

Система органов дыхания состоит из *воздухоносных путей* (носовая полость, носоглотка, гортань, трахея и бронхи) и *легких*. По воздухоносным путям перемещается вдыхаемый и выдыхаемый воздух, а в легких совершается газообмен между воздухом и кровью.

У человека дыхание осуществляется специальными органами и включает следующие процессы: поступление в легкие и выведение из них воздуха (внешнее дыхание); газообмен в легких; перенос газов кровью; газообмен в тканях; клеточное, или тканевое, дыхание.

Легочный тип дыхания является наиболее совершенным, он характерен для высокоорганизованных животных — птиц и млекопитающих, а также для человека. У более низкоорганизованных животных дыхание жаберное, трахейное и кишечное.

Значение дыхания:

- обеспечение организма O_2 ;
- образование и удаление из организма CO_2 ;
- окисление органических соединений с высвобождением энергии;
- удаление некоторых конечных продуктов обмена веществ: H_2O , NH_3 , H_2S и др.

Строение и функции дыхательных путей. Строение легких

Воздух поступает в дыхательную систему человека через нос или через рот. Он проходит по воздухоносным путям носовых ходов и *носоглотки*, где согревается, увлажняется и фильтруется. Затем воздух через *гортань* поступает в *трахею*. Стенки трахеи содержат хрящи, придающие ей жесткость и не дающие ей спадаться. Внутренняя поверхность трахеи выстлана мерцательным эпителием, реснички которого перемещают попадающие с воздухом посторонние частицы вверх в носоглотку, где они заглатываются. Нижний конец трахеи делится на два бронха, которые затем разветвляются на все более и более тонкие трубки — *бронхиолы*. Мельчайшие бронхиолы оканчиваются массой крошечных, напоминающих пену, пузырьков, заполненных воздухом, называемых *альвеолами*. Каждая альвеола окружена сетью капилляров. Кровь, проходя по этим капиллярам, непрерывно поглощает кислород из содержащегося в альвеолах воздуха и выделяет в него двуокись углерода (рисунок 74).

Дыхательные движения

Вдох и выдох ритмически сменяют друг друга, обеспечивая прохождение воздуха через легкие, их вентиляцию. Смена вдоха и выдоха регулируется дыхательным центром, расположенным в продолговатом мозге. В дыхательном центре ритмически возникают импульсы, которые по нервам передаются межреберным мышцам и диафрагме, вызывая их сокращение. Ребра приподнимаются, диафрагма за счет сокращения ее мышц становит-

ся почти плоской. Объем грудной полости увеличивается. Легкие следуют за движениями грудной клетки. Происходит *вдох*. Затем межреберные мышцы и мышцы диафрагмы расслабляются, объем грудной полости уменьшается, легкие сжимаются и воздух удаляется. Происходит *выдох*.

При относительном покое взрослый человек совершает примерно 16 дыхательных движений в 1 мин. В плохо проветриваемом помещении частота дыхательных движений возрастает в 2 и более раз. Это происходит потому, что нервные клетки дыхательного центра чувствительны к углекислому газу, содержащемуся в крови. Как только его количество в крови увеличивается, в дыхательном центре усиливается возбуждение и нервные импульсы распространяются по нервам к дыхательным мышцам. В результате частота и глубина дыхательных движений увеличиваются.

Таким образом, дыхательные движения регулируются нервным и гуморальным путем.

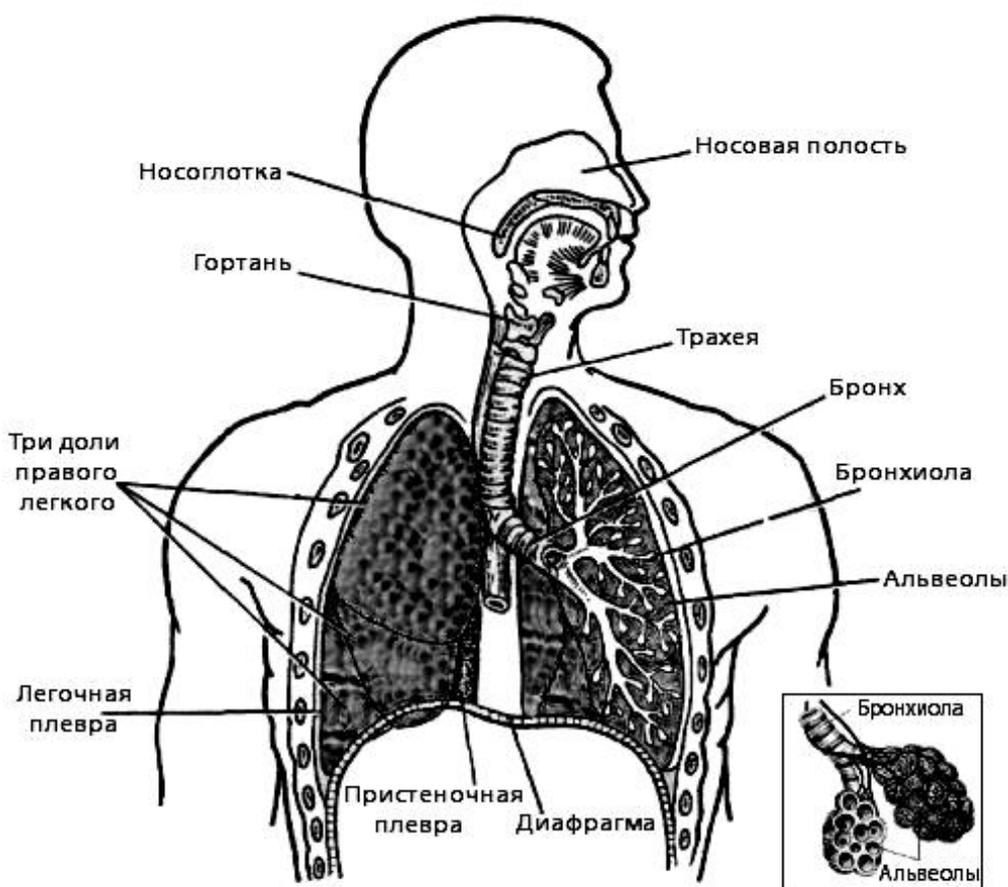


Рисунок 74 — Схема органов дыхательной системы

Жизненная емкость легких

Человек в состоянии покоя вдыхает и выдыхает около 500 мл воздуха. Этот объем воздуха называется *дыхательным*. Если после спокойного вдоха сделать усиленный дополнительный вдох, то в легкие может поступить

еще 1500 мл воздуха. Такой объем называют **резервным объемом вдоха**. После спокойного выдоха при максимальном напряжении дыхательных мышц можно выдохнуть еще 1500 мл воздуха. Этот объем носит название **резервного объема выдоха**. После максимального выдоха в легких остается около 1200 мл воздуха — **остаточный объем**. Сумма резервного объема выдоха и остаточного объема составляет около 250 мл — функциональную остаточную емкость легких (альвеолярный воздух).

Жизненная емкость легких — это сумма дыхательного объема воздуха, резервного объема вдоха и резервного объема выдоха ($500 + 1500 + 1500$). У разных людей жизненная емкость легких неодинакова. Ее определяют при медицинских обследованиях с помощью специального прибора — *спирометра* (или *спирографа*).

Газообмен в легких и тканях. Транспорт газов кровью

Дыхательная поверхность легких, слагающаяся из суммы поверхностей огромного числа альвеол, очень велика. Каждая альвеола окружена сетью капилляров. Кровь, проходя по этим капиллярам, непрерывно поглощает кислород из содержащегося в альвеолах воздуха и выделяет в него двуокись углерода. Во всех остальных тканях, где клетки непрерывно расходуют кислород в процессе клеточного дыхания и выделяют двуокись углерода, газообмен идет в обратном направлении: кислород выделяется из крови во внеклеточную жидкость, а двуокись углерода поступает в кровь.

Некоторое количество кислорода растворено в плазме крови, однако основная его часть — примерно в 16 раз больше — прочно связывается содержащимся в эритроцитах красным пигментом белковой природы — *гемоглобином*.

В отличие от кислорода большая часть двуокиси углерода транспортируется кровью в растворенном состоянии, и лишь небольшая ее доля связывается гемоглобином и другими белками крови. При прохождении через легкие кровь выделяет в альвеолы всего лишь около 10 % содержащейся в ней двуокиси углерода. Остальные 90 % остаются в крови, где они выполняют важнейшую роль буфера, вещества, способствующего поддержанию постоянной уровня рН крови.

Тема 46. Строение и функции пищеварительной системы

Пищеварительная система состоит из нескольких отделов: ротовой полости, пищевода, желудка, тонкой и толстой кишок (рисунок 75). С тонкой кишкой протоками связаны печень и поджелудочная железа, которые вырабатывают пищеварительные соки. Существенную роль в пищеварении играют слюнные железы и железы, находящиеся в стенках желудка и тонкой кишки.

Ротовая полость принимает участие в механической и химической переработке пищи. Сверху она ограничена твердым и мягким небом, снизу —

челюстно-подъязычной мышцей, по бокам — щеками, а спереди — губами. У взрослого человека в ротовой полости имеется 32 зуба: по 4 резца, 2 клыка, 4 малых коренных и 6 больших коренных зубов на каждой челюсти.

Слизистая оболочка ротовой полости снабжена множеством слюнных желез разной величины. Крупные железы расположены глубоко в тканях. Они значительно удалены от полости рта и сообщаются с ней выводными протоками.

В ротовой полости находится язык — подвижный мышечный орган, покрытый слизистой оболочкой и богато снабженный сосудами и нервами. Язык передвигает пищу в процессе жевания, служит органом вкуса и участвует в звукообразовании.

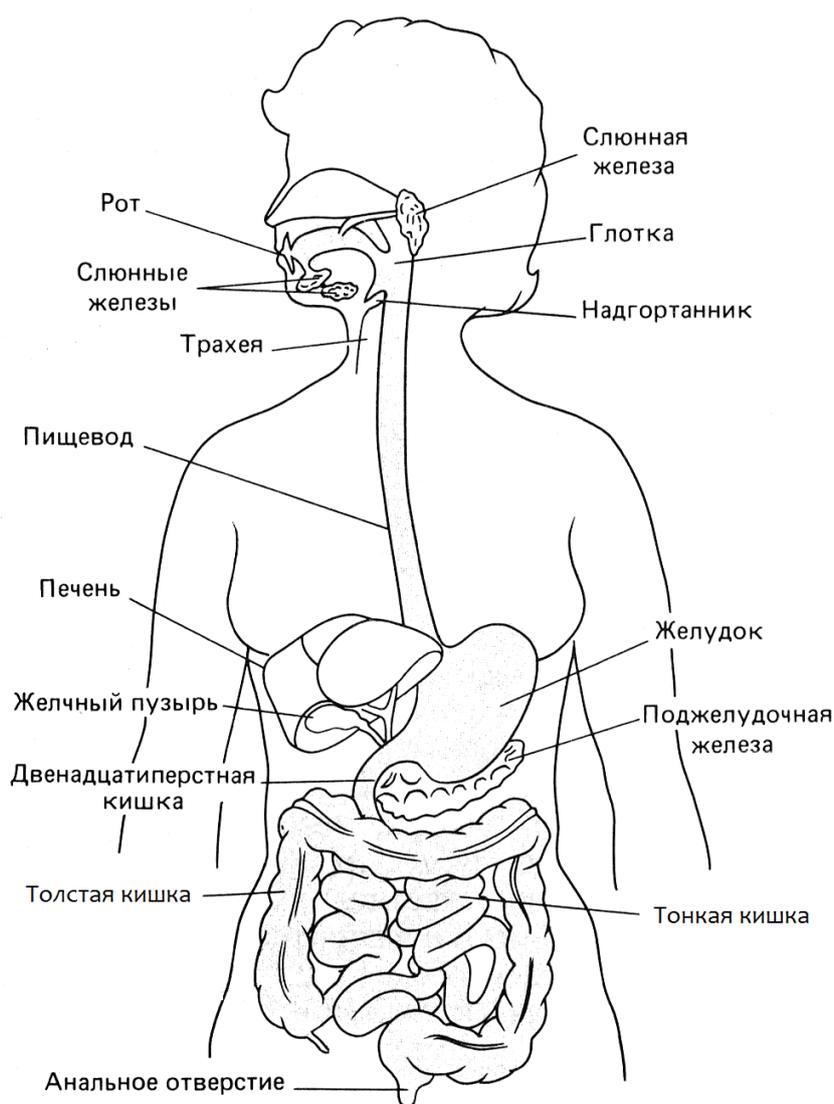


Рисунок 75 — Схема пищеварительной системы

Глотка — это участок пищеварительного канала, соединяющий ротовую полость с пищеводом и носовую — с гортанью.

От глотки начинается **пищевод** — мышечная трубка длиной около 25 см. Вместе с трахеей пищевод проходит в грудную полость и открывается в желудок.

Желудок — расширенная часть пищеварительной трубки, покрытая соединительной тканью. Его слизистая оболочка собрана в складки, в которые открываются выводные протоки желез, вырабатывающих желудочный сок. Мускулатура желудка состоит из нескольких слоев гладких мышц. Такое строение способствует поддержанию постоянного давления в желудке, тонуса его стенок, перемешиванию и передвижению пищевой массы из желудка в кишечник.

Тонкая кишка занимает большую часть брюшной полости. У взрослого человека ее длина составляет 5–6 м. Тонкая кишка подразделяется на двенадцатиперстную, тощую и подвздошную кишки. В ее начальную часть — *двенадцатиперстную кишку* открываются протоки поджелудочной железы и печени. *Тощая* и *подвздошная кишки* со всех сторон покрыты брыжейкой — соединительнотканной складкой брюшины, прикрепляющей внутренние органы к стенкам брюшной полости.

Слизистая оболочка тонкой кишки содержит огромное количество микроскопических желез, вырабатывающих кишечный сок. Кроме того, она образует многочисленные выросты — ворсинки. Внутри каждой из них находятся гладкие мышечные клетки и хорошо развитая кровеносная и лимфатическая сети. Ворсинки в свою очередь покрыты пальцеобразными выростами — микроворсинками.

Поджелудочная железа выполняет основную функцию в переваривании пищи в кишечнике. Сок поджелудочной железы по специальному протоку поступает в двенадцатиперстную кишку.

Печень является самой крупной пищеварительной железой, которая связана с тонкой кишкой. Она расположена справа под диафрагмой в верхнем отделе брюшной полости. На нижней поверхности правой доли печени располагается *желчный пузырь*, служащий для накопления желчи. Из желчного пузыря желчь по протоку поступает в двенадцатиперстную кишку. Вырабатываемая печенью желчь активизирует ферменты тонкой кишки и сока поджелудочной железы, эмульгирует жиры, подщелачивает пищевую кашицу. Кроме того, печень участвует в синтезе витамина А, оказывает влияние на процессы кроветворения и свертывания крови. Особенно важна барьерная функция печени. Она задерживает и обезвреживает ядовитые вещества, попадающие в кровь из кишечника.

Толстая кишка — конечный отдел пищеварительной системы. По внешнему виду она отличается от тонкой не только большим диаметром, но и наличием типичных вздутий. Ее длина колеблется от 1,5 до 2 м, а диаметр составляет около 6 см. Толстая кишка не имеет ворсинок и почти лишена пищеварительных желез.

В начале толстой кишки находится мешкообразное выпячивание — *слепая кишка*, от которой отходит червеобразный отросток — *аппендикс*. Последним отрезком толстой кишки является прямая кишка с анальным отверстием, которое служит для удаления непереваренных остатков пищи.

Процессы пищеварения

Полость рта. При пережевывании пища смешивается со слюной, которую секретируют слюнные железы. Слюна содержит около 99 % воды, остальное — пищеварительные ферменты, соли и слизь. Слизь представляет собой вязкую жидкость, состоящую из воды и веществ белковой природы — лизоцима и др. Лизоцим обладает обеззараживающим действием — он разрушает оболочки бактериальных клеток. Благодаря слизи пищевая масса легко проглатывается.

Слюнные железы вырабатывают пищеварительные ферменты расщепляющие крахмал до простых углеводов. Но пища находится в ротовой полости непродолжительное время, поэтому действие ферментов слюны реализуется в желудке. Это возможно до того момента, пока пищевой комок не пропитается желудочным соком.

Язык проталкивает пищу в направлении глотки, которая ведет в пищевод. В момент совершения глотательных движений вход в трахею прикрывается надгортанником. Следовательно, во рту пища измельчается, смачивается, обволакивается слизью, частично обеззараживается и подвергается действию ферментов.

Желудок. Из пищевода пища направляется в желудок, где она накапливается и задерживается на некоторое время (2–8 ч). В результате сокращений стенок желудка пища перетирается, смешивается с желудочным соком и приобретает консистенцию жидкого супа.

Желудочный сок — это бесцветная жидкость, в состав которой входят пищеварительные ферменты, слизь и соляная кислота. Она активизирует ферменты желудочного сока и уничтожает болезнетворные микроорганизмы. Слизь препятствует перевариванию стенок желудка собственными ферментами.

Тонкая кишка выделяет *кишечный сок*, который состоит из жидкой части и комочков слизи, содержащих слущенные клетки кишечного эпителия. При разрушении этих клеток освобождаются содержащиеся в них ферменты, которые активно участвуют в пищеварении. Оптимальной для работы ферментов является щелочная среда.

Важную роль в пищеварении играют сок поджелудочной железы и желчь, которые по выводным протокам поступают в полость двенадцатиперстной кишки через несколько минут после начала приема пищи.

Количество (в среднем за сутки выделяется 1,5 л) и качественный состав *сока поджелудочной железы* соответствуют химическому составу пищи. Ферменты, входящие в его состав, становятся активными только в

двенадцатиперстной кишке. Они расщепляют белки, а также углеводы и жиры.

Желчь, создавая щелочную реакцию, усиливает двигательную активность тонкой кишки и влияет на процессы всасывания. Соли желчных кислот, входящие в ее состав, облегчают переваривание и всасывание жиров, а также других веществ, нерастворимых в воде.

Толстая кишка служит главным образом для подготовки к выведению непереваренных остатков пищи, которые образуют кал.

Многочисленные бактерии, находящиеся в толстой кишке, принимают участие в образовании органических кислот, газов и токсических веществ. Здесь под действием микрофлоры происходит частичное расщепление целлюлозы, что имеет существенное значение, так как пищеварительные ферменты на нее не действуют.

Всасывание — это совокупность процессов, обеспечивающих перенос веществ из пищеварительного тракта во внутреннюю среду организма (кровь и лимфу).

Всасывание осуществляется практически во всех отделах пищеварительной системы, но с различной интенсивностью. В ротовой полости всасывание незначительно вследствие кратковременного пребывания здесь пищи. В желудке всасываются глюкоза, частично вода и минеральные соли, некоторые лекарственные препараты.

Поскольку всасывание продуктов расщепления происходит в основном в тонкой кишке, ее слизистая оболочка по своему строению максимально приспособлена для этих процессов. Особое значение для эффективного переноса веществ имеет большая площадь поверхности кишечника и высокий кровоток в его слизистой оболочке. Продукты расщепления жиров, белков и углеводов всасываются в кровеносные капилляры ворсинок. Далее они переносятся к клеткам, где либо окисляются с выделением энергии, либо используются в процессах биосинтеза как строительный материал.

В стенках толстого кишечника происходит всасывание основной массы воды, минеральных солей, некоторых витаминов; непереваренные остатки пищи выводятся из организма с калом. Кал состоит на три четверти из воды и на одну четверть из твердого материала; 30 % твердого материала составляют обитающие в кишечнике бактерии, 15 % — неорганические вещества, 3 % — белки, 20 % — жиры и 30 % — различные непереваренные компоненты пищи.

Значение питания и пищеварения

Человеку для нормального роста, развития и жизнедеятельности необходимо постоянное поступление в его организм основных питательных веществ: белков, жиров, углеводов, витаминов, минеральных солей и воды. Совокупность процессов поступления, переваривания, всасывания и усвоения организмом питательных веществ, необходимых для нормальной

жизнедеятельности организма, называют **питанием**. Питание, в свою очередь, является частью обмена веществ.

Питательные вещества можно условно разделить на две группы: те, которые необходимы человеку в больших количествах, или *макрокомпоненты*, и те, которые требуются в меньших количествах, или *микрокомпоненты*.

К макрокомпонентам относятся жиры, углеводы и белки. Все эти три типа соединений способны служить источником энергии, поскольку они могут расщепляться и использоваться для синтеза АТФ. Все три класса макрокомпонентов служат также источником атомов углерода, используемых при построении различных клеточных структур. Белки поставляют, кроме того, аминокислоты, из которых организм синтезирует собственные свойственные только ему одному белки.

Те макрокомпоненты, которые организм не использует немедленно в качестве источника энергии, а также для роста или для восстановления тканей, запасаются впрок. Углеводы запасаются в форме гликогена в мышцах и печени, а жиры откладываются в неизменном виде. Запасать белки организм не способен; избыточные белковые молекулы освобождаются от атомов азота, превращаясь в молекулы жиров и углеводов, которые могут запасаться в организме.

Микрокомпонентами называются вещества, необходимые в небольших количествах; эти вещества должны содержаться в пище потому, что организм человека либо вообще не способен их синтезировать, либо не может синтезировать их с такой скоростью, с какой они потребляются. Микрокомпоненты можно разделить на *витамины*, представляющие собой органические соединения, и *минеральные вещества*.

К настоящему времени известно более 80 витаминов. Необходимые человеку витамины обычно делят на две группы: водорастворимые (витамины группы **В**, а так же витамины **С**, **Р** и др.) и жирорастворимые (витамины **А**, **Д**, **Е**, **К**). Витамин **А** оказывает влияние на остроту зрения (входит в состав родопсина), развитие эпителия, рост организма. Витамин **Д** регулирует обмен кальция и фосфора. Витамин **К** необходим для нормальной свертываемости крови. Витамин **Е** влияет на гаметогенез, **С** — на рост организма, прочность сосудистых стенок, витамины **В₁** и **В₆** — на нервную систему, **В₂** и **РР** — на развитие слизистых оболочек, кожу, **В₁₂** — на кроветворение.

Минеральные вещества — это необходимые компоненты здоровой жизни человека. С ними связаны такие свойства живого, как возбудимость, проводимость и сократимость. Неорганические ионы (K^+ , Na^+ , Cl^- , Ca^{2+}) необходимы для нормальной деятельности нервной и мышечной систем. Ионы Na^+ и Cl^- создают осмотическое давление, которое определяет распределение воды между клетками. От обмена кальция и фосфора зависит рост костей. Кальций влияет на свертывание крови, обмен белков и жиров.

Человек получает минеральные вещества с самыми различными продуктами (капуста, картофель, молочные продукты и др.). Эти вещества, как и витамины, усваиваются в организме человека в неизменном виде.

Вода составляет около $2/3$ человеческого организма и является главным компонентом каждой клетки. Кроме того, вода составляет основную часть плазмы крови, лимфы и тканевой жидкости. Для нормальной жизнедеятельности важно, чтобы поступление воды полностью покрывало ее расход. При температуре окружающей среды около $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ человеку в сутки нужно $2\text{--}2,5$ л воды. Она поступает в организм при питье (около 1 л), с пищей (около 1 л). Часть ее образуется при обмене белков, жиров и углеводов ($300\text{--}350$ мл).

Пищеварение — процесс измельчения и физиологического расщепления (переваривание) пищи с помощью пищеварительных соков и ферментов, осуществляющийся в пищеварительной системе. Ферменты, участвующие в пищеварении, и их значение приведены в таблице 7.

Таблица 7 — Пищеварительные ферменты и их значение

Орган	Пищеварительные железы	Ферменты	Действие ферментов
Ротовая полость	Крупные слюнные (3 пары) и мелкие слюнные железы	Амилаза Мальтаза	Расщепляют сложные углеводы до простых в щелочной среде
Желудок	В стенке слизистой оболочки	Пепсин	Расщепляет сложные белки до простых
		Химозин (ренин)	Створаживает молоко
		Липаза	Расщепляет эмульгированные жиры молока до глицерина и жирных кислот
		Желатиназа	Гидролизует желатин в кислой среде
Тонкий кишечник	Поджелудочная железа	Трипсин, химотрипсин	Расщепляют белки до аминокислот
		Липаза	Расщепляет жиры до глицерина и жирных кислот
		Амилаза	Расщепляет сложные углеводы до моносахаридов (глюкозы, фруктозы и т. д.)
		Нуклеаза	Расщепляет нуклеиновые кислоты до нуклеотидов
	В стенке железистого эпителия	Энтерокиназа	Активизирует трипсин
		Липаза	Расщепляет жиры до глицерина и жирных кислот
		Лактаза	Расщепляет лактозу до глюкозы и галактозы
		Аминопептидазы	Отщепляют N-концевые аминокислоты от полипептидов
Печень		Желчь	Эмульгирующий эффект, активация ферментов, активизирует моторную и секреторную деятельность кишечника

Тема 47. Выделительная система

Организм человека получает питательные вещества из окружающей среды, перерабатывает их в процессе метаболизма и выделяет конечные продукты обмена наружу. Органы выделения должны избирательно извлекать эти конечные продукты, сохраняя вещества, необходимые организму. Один из таких продуктов — двуокись углерода — выводится из организма человека через легкие, а некоторые другие продукты, такие как вода и соли, могут выделяться через кожу (таблица 8).

Исключительная роль в выведении из организма образовавшихся в процессе обмена веществ азотсодержащих продуктов принадлежит мочевыделительной системе. Ее главные составляющие: почки, мочеточники, мочевой пузырь и мочеиспускательный канал. Наиболее важный орган, регулирующий состав жидкостей тела, — это почки. Почки извлекают из плазмы крови аммиак, мочевины, мочевую кислоту, лекарственные препараты и в составе мочи выделяют их во внешнюю среду. Почки участвуют в поддержании постоянства водно-солевого обмена и других параметров гомеостаза. Поскольку кровь контактирует с внеклеточной жидкостью, почки, регулируя состав крови, регулируют одновременно и состав всех жидкостей тела. Значение этой функции трудно переоценить: при небольшом увеличении содержания натрия в крови останавливается сердце; избыток воды во внеклеточной жидкости или небольшое повышение концентрации магния блокирует нервную проводимость. А поэтому серьезное повреждение почек быстро приводит к смерти.

Таблица 8 — Основные продукты жизнедеятельности человека и выделяющие их органы

Выделяемое вещество	Выделяющие органы
Азотсодержащие отходы (продукты расщепления белков)	Почки и отчасти потовые железы
Вода	Почки, кожа (с потом), легкие (испарение)
Соли	Почки, кожа (с потом)
Двуокись углерода	Легкие
Пряности, лекарственные вещества и пр.	Легкие, почки

Почки — органы бобовидной формы, расположенные в поясничной области по бокам от позвоночника. Каждая почка покрыта соединительнотканной капсулой, к которой снаружи прилегает слой жировой клетчатки.

Наружный край почки имеет выпуклую форму, а внутренний — глубокую вырезку — *ворота*. Сюда входит *почечная артерия*, несущая неочищенную кровь, а выходят *почечная вена* и *мочеточник*. Вена содержит очищенную от жидких продуктов распада кровь, а по мочеточнику вещества, подлежащие удалению, в составе мочи перемещаются в *мочевой пузырь* (рисунок 76).

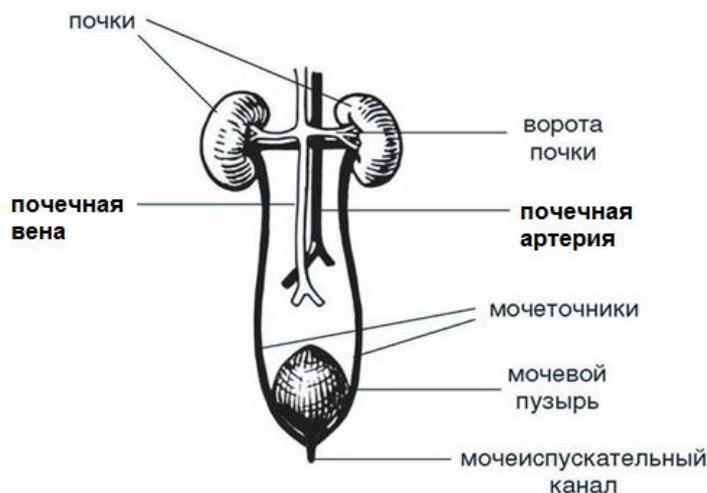


Рисунок 76 — Строение мочевыделительной системы

В каждой почке имеется корковое и мозговое вещества. *Корковое вещество* занимает поверхностную зону. В виде столбиков оно входит в *мозговое вещество* и делит его на 15–20 *почечных пирамид*. Их основания примыкают к корковому веществу почки, а вершины направлены в *почечную лоханку* — полость, где моча собирается перед поступлением в мочеточники.

Структурно-функциональной единицей почки является нефрон; почка человека содержит примерно миллион нефронов. Каждый нефрон представляет собой длинную тонкую трубку, на одном конце которой имеется расширение — *боуменова капсула*, содержащая внутри *капиллярный клубочек* (рисунок 77). Поскольку кровь в капиллярах находится под давлением, некоторое количество плазмы крови проходит через щели между клетками стенок капилляров (именно поэтому давление крови у человека должно быть довольно высоким). Межклеточные пространства в капиллярах слишком малы для того, чтобы через них могли проходить клетки крови и даже молекулы белков; появление в моче крови или белка может быть вызвано повреждением этих капилляров. Образовавшийся фильтрат носит название *первичной мочи* (образование название первичной мочи относится к первой фазе мочеобразования). По своему составу она напоминает плазму крови, лишенную белков.

По мере того как отфильтрованная жидкость проходит по каналцу нефрона, клетки, образующие стенки каналца, осуществляют *реабсорбцию* (обратное всасывание) нужных веществ, таких, как глюкоза и некоторые соли, и возвращают их обратно во внеклеточную жидкость; это вторая фаза мочеобразования. После того как клетки изымают эти растворенные вещества из образующейся мочи, вода всасывается осмотически. Клетки стенок нефрона *выделяют* из внеклеточной жидкости в образующуюся мочу другие растворенные вещества: некоторые соли, гормоны и лекарствен-

ные препараты. В результате образуется *конечная моча*. Капилляры, оплетающие нефрон, обеспечивают обмен веществ в обоих направлениях между кровью и внеклеточной жидкостью, которая в свою очередь осуществляет обмен с клетками нефрона. Моча через *собирательные трубки* вытекает из нефронов, а затем через *мочеточники* попадает в *мочевой пузырь*. Окончательно она выводится из организма через мочеиспускательный канал.

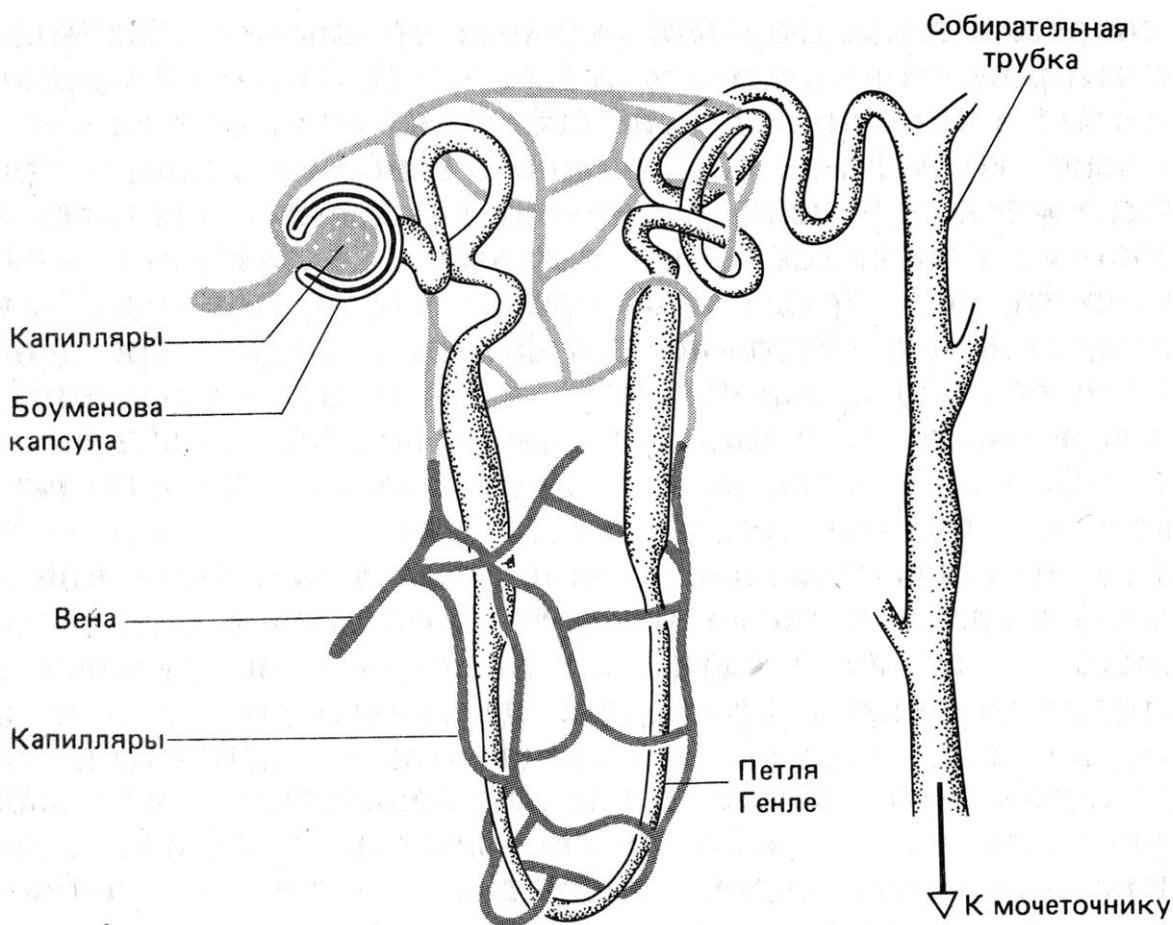


Рисунок 77 — Строение нефрона тазовой почки

Выведение мочи из организма осуществляется рефлекторно. Поступающая в мочевой пузырь моча растягивает его стенки, раздражая рецепторы. В них возникает возбуждение, которое передается к *центру мочеиспускания*, расположенному в крестцовом отделе спинного мозга. Отсюда нервные импульсы поступают к мускулатуре пузыря, заставляя ее сокращаться. Мышечный сфинктер на выходе из мочевого пузыря расслабляется, моча поступает в мочеиспускательный канал и удаляется из организма. Спинномозговой центр мочеиспускания находится под контролем больших полушарий головного мозга, поэтому акт мочеиспускания контролируется сознанием.

Тема 48. Покровная система

Наружным покровом нашего тела является **кожа**. Будучи прочной и упругой, она защищает ткани и органы от механических воздействий внешней среды. Кожа практически непроницаема для микроорганизмов. Наличие чувствительных нервных окончаний позволяет ей выполнять рецепторную функцию. Благодаря имеющемуся в ней пигменту меланину кожа способна защищать лежащие под ней органы и ткани от действия ультрафиолетовых лучей. Через кожный покров с потом удаляются из организма вода, минеральные соли и другие продукты обмена. Кожа играет важную роль в поддержании постоянной температуры тела. Через нее выводится до 90 % образовавшегося в организме тепла.

Таким образом, покровная система — кожа — участвует в поддержании температурного и водно-солевого гомеостаза, осуществляет связь организма с внешней средой.

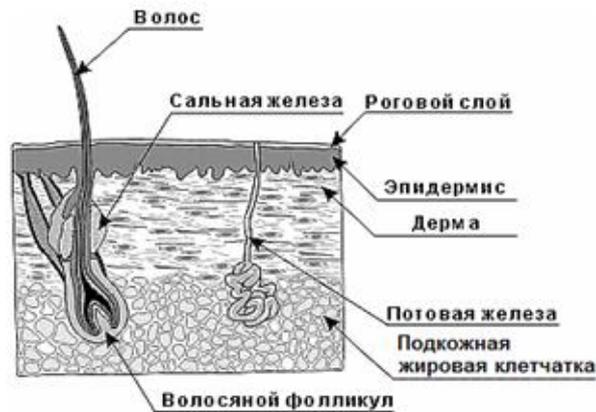


Рисунок 78 — Строение кожи

В коже различают тонкий наружный слой — эпидермис и внутренний — дерму (собственно кожу), переходящую в подкожную жировую клетчатку (рисунок 78).

Эпидермис образован поверхностно расположенным роговым слоем и более глубоко лежащим ростковым. Поверхностный слой состоит из мертвых, ороговевших клеток, которые постоянно слущиваются.

В слое эпидермиса, прилежащем к дерме, происходит деление новых клеток, заменяющих отмершие.

Клетки глубокого слоя эпидермиса вырабатывают и накапливают меланин — пигмент, который определяет цвет кожи. Под влиянием солнечного излучения образование меланина увеличивается, поэтому при загаре наша кожа темнеет.

Производными эпидермиса являются *ногти* и *волосы*, образованные элементами рогового слоя.

Дерма (собственно кожа) представлена соединительной тканью с большим количеством волокон, придающих ей упругость. Здесь расположены кровеносные и лимфатические сосуды, нервы, а также осязательные, холодовые, тепловые и болевые рецепторы. В дерме находятся потовые и сальные железы, а также волосяные луковицы.

Сальные железы находятся на всех участках тела человека, имеют альвеолярное строение. Они связаны выводными протоками с волосяными мешочками. Секрет желез — кожное сало — служит смазкой для волос и для эпидермиса, смягчает кожу, оберегает ее от воздействия воды и микроорганизмов.

Потовые железы — простые трубчатые железы, встречаются почти на всех участках кожного покрова. Общее количество их достигает 2,5 млн. Особенно богата потовыми железами кожа ладоней, подошвы ног, мышечные и подмышечные складки. Секрет потовых желез — пот — содержит около 98 % воды и 2 % органических и неорганических веществ. С потом выделяются продукты белкового обмена (мочевина, мочевая кислота и др.), некоторые соли (хлорид натрия и др.).

Подкожная жировая клетчатка представлена пучками соединительнотканых волокон и жирными клетками рыхлой соединительной ткани. Сквозь нее в кожу проходят кровеносные сосуды, нервы. Основная функция подкожной жировой клетчатки: сохранение тепла, смягчение ударов и защита внутренних органов, запасание жира, связь кожи с внутренними тканями тела.

Тема 49. Зрительная сенсорная система

Окружающий мир, все цвета, звуки, запахи человек воспринимает с помощью органов чувств: зрения, слуха, вкуса, обоняния и осязания. Органы чувств являются начальным отделом сложных образований — **сенсорных систем** или **анализаторов**.

Все сенсорные системы построены из по единому принципу и состоят из трех отделов:

— *Периферический* отдел представлен рецепторами органов чувств. В них происходит преобразование энергии раздражителя в нервные импульсы.

— *Проводниковый* отдел состоит из чувствительных нервных волокон. Которые доставляют нервные импульсы от рецепторов в центральную нервную систему.

— *Центральный* отдел расположен в коре больших полушарий головного мозга. Здесь происходит окончательный анализ поступившей информации и формирование ощущений.

Зрение — это процесс, который позволяет воспринимать форму, размеры, цвета окружающих нас предметов.

Периферический отдел зрительного анализатора представлен рецепторами сетчатки глазного яблока. Проводниковый отдел образован зри-

тельным нервом. Центральный отдел зрительного анализатора располагается в затылочной доле коры головного мозга. Глазное яблоко (глаз) находится в углублении лицевого отдела черепа — *глазнице*. Сзади и сбоку глаз защищен от внешних воздействий костными стенками глазницы, а спереди — веками и ресницами. Которые образуют вспомогательный аппарат глазного яблока. Глазное яблоко состоит из трех оболочек: наружной, средней и внутренней (рисунок 79).

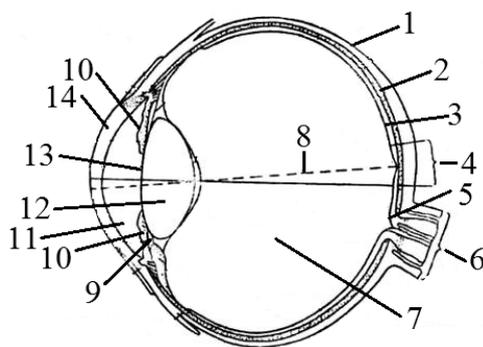


Рисунок 79 — Схема строения глазного яблока:

1 — склера, 2 — сосудистая оболочка, 3 — сетчатая оболочка, 4 — желтое пятно, 5 — слепое пятно, 6 — зрительный нерв, 7 — стекловидное тело, 8 — зрительная ось, 9 — задняя камера глаза, 10 — радужка, 11 — передняя камера глаза, 12 — хрусталик, 13 — зрачок, 14 — роговица

Наружная оболочка глазного яблока — *склера* — непрозрачное плотное образование белого цвета. Спереди склера переходит в прозрачную *роговицу*. Средняя оболочка — *сосудистая*, густо пронизана кровеносными сосудами, которые обеспечивают питание глазного яблока. Спереди сосудистая оболочка переходит в *радужку*. Она имеет форму диска с отверстием — *зрачок*. В радужке содержатся пигментные клетки, которые определяют цвет глаз. Если радужка содержит мало пигмента, то глаза имеют голубой цвет. Чем больше пигментных клеток содержится в радужке, тем темнее ее окраска. Позади зрачка располагается *хрусталик* — прозрачное эластичное образование, имеющее форму двояковыпуклой линзы. Хрусталик способен изменять свою форму в зависимости от расстояния до рассматриваемого предмета. Если человек смотрит на близко расположенный предмет, то хрусталик становится более выпуклым. Если расстояние до рассматриваемого предмета велико, то хрусталик становится плоским. Процесс изменения формы хрусталика называется *аккомодацией*. Между роговицей и радужкой располагается передняя камера глаза, а между роговицей и хрусталиком — задняя камера. Обе камеры заполнены прозрачной жидкостью. Внутренняя оболочка глазного яблока — *сетчатая (сетчатка)*. Сетчатка содержит большое количество зрительных рецепторов (фоторецепторов) — *палочек* и *колбочек*. Участок сетчатки, который содержит большое количество рецепторов, называется *желтым пятном*. От сетчат-

ки отходит *зрительный нерв*. Место выхода зрительного нерва не содержит рецепторов и называется *слепым пятном*. Полость глаза позади хрусталика заполнена прозрачным желеобразным *веществом* — *стекловидным телом*.

Световые лучи от рассматриваемых предметов проходят через роговицу, зрачок, хрусталик, стекловидное тело, раздражают светочувствительные клетки (фоторецепторы) сетчатки и вызывают в них возбуждение. Оно передается по зрительному нерву в затылочные доли коры больших полушарий. Здесь возникают зрительные ощущения — форма предмета, его окраска, величина, расположение.

Тема 50. Слуховая сенсорная система

Слуховой анализатор состоит из трех отделов. Периферический отдел слухового анализатора представлен рецепторными клетками органа слуха, проводниковый отдел образован слуховым нервом, а центральный отдел представлен височными долями коры головного мозга.

Орган слуха состоит из *наружного уха*, *среднего* и *внутреннего уха* (рисунок 80).

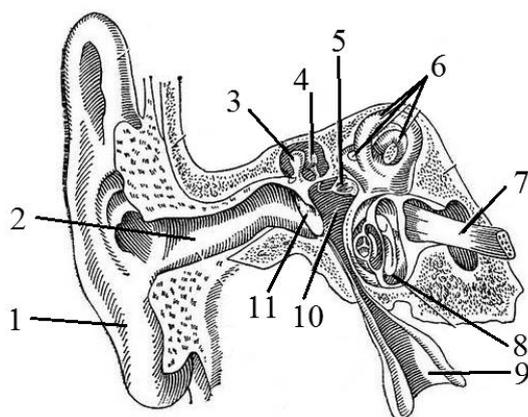


Рисунок 80 — Схема строения органа слуха:

- 1 — ушная раковина, 2 — наружный слуховой проход, 3 — молоточек,
- 4 — наковальня, 5 — стремечко, 6 — полукружные каналы (орган равновесия),
- 7 — слуховой нерв, 8 — улитка, 9 — слуховая (евстахиева) труба,
- 10 — полость среднего уха, 11 — барабанная перепонка

Наружное ухо состоит из *ушной раковины* и *наружного слухового прохода*. Наружный слуховой проход выстлан многослойной эпителиальной тканью и содержит особые железы, которые выделяют вязкую жидкость — *ушную серу*. Ушная сера предотвращает попадание пыли и микроорганизмов в полость среднего и внутреннего уха. Наружное ухо улавливает звуковые колебания и передает их в среднее ухо.

На границе между наружным и средним ухом находится *барабанная перепонка*. За барабанной перепонкой в полости височной кости черепа располагается *среднее ухо*. В полости среднего уха имеются три слуховые

косточки: *молоточек*, *наковальня* и *стремечко*. Среднее ухо соединяется с носоглоткой через *слуховую (евстахиеву) трубу*. Звуковые колебания от барабанной перепонки передаются на слуховые косточки, которые усиливают звуковую волну и передают ее во внутреннее ухо. Внутреннее ухо представляет собой систему полостей и каналов. Во внутреннем ухе выделяют три отдела: *преддверие*, *полукружные каналы* (орган равновесия) и *улитку*. Улитка представляет собой спирально закрученный костный канал, полость которого разделена двумя перепонками и заполнена жидкостью. Внутри улитки располагаются звуковоспринимающие волосковые клетки.

Звуковая волна, пройдя через все структуры органа слуха, раздражает волосковые клетки улитки. В них возникает возбуждение, которое по слуховому нерву передается в височную долю коры головного мозга. Там происходит анализ полученной информации и образование слуховых ощущений.

Тема 51. Репродуктивная система

Способность к самовоспроизведению является основным свойством живых организмов. Для человека характерно *половое размножение*, в котором участвуют мужские и женские половые клетки. Половые клетки вырабатываются в половых железах. Кроме них в этих железах образуются половые гормоны, которые контролируют развитие вторичных половых признаков (размеры и пропорции тела, тембр голоса, поведение человека). Половые гормоны также обеспечивают нормальное протекание беременности и родов.

Мужская половая система представлена внутренними и наружными мужскими половыми органами. К внутренним мужским половым органам относятся *семенники*, их *придатки* и *предстательная железа*. Наружными мужскими половыми органами являются *половой член* и *мошонка*. Каждый семенник состоит из извитых семенных канальцев, в которых образуются мужские половые клетки — *сперматозоиды*. Семенники также вырабатывают мужские половые гормоны, которые обеспечивают формирование вторичных половых признаков и способность мужского организма к оплодотворению.

Женская половая система также представлена внутренними и наружными половыми органами. Внутренние половые органы — это *парные яичники*, *яйцеводы*, и непарные *матка* и *вагина*. Яичники — женские половые железы, в которых происходит образование *яйцеклеток* (женских половых клеток), а также женских половых гормонов. Яйцеклетки образуются в особых пузырьках — *фолликулах*. По мере созревания яйцеклетки стенка фолликула приближается к стенке яичника, затем фолликул разрывается и яйцеклетка попадает в *яйцевод*, а затем в *матку*. На месте лопнувшего фолликула развивается временная железа — *желтое тело*, которая вырабатывает гормоны, регулирующие процессы оплодотворения.

Оплодотворение — процесс слияния мужских и женских половых клеток (гамет). Слияние сперматозоида с яйцеклеткой происходит в яйцевод. При этом образуется диплоидная зигота. Затем начинается первый период развития зародыша — *дробление*. В результате дробления образуется многоклеточный зародыш с полостью внутри — *бластула*. Затем бластула попадает в матку и внедряется в ее слизистую оболочку. Далее начинается следующий процесс — *гастроуляция* — образование зародышевых листков. Затем начинается период *органогенеза*. При этом происходит образование внутренних органов и их систем. В матке имеется специальное образование — *плацента*, через которую происходит питание плода. Внутриутробное развитие человека продолжается 38–40 недель. После его завершения наступают роды. Процесс родов регулируется гормонами, которые вызывают сокращения матки.

После рождения процесс развития человека продолжается. Его организм проходит следующие основные периоды развития: грудной, период раннего детства, дошкольный период, школьный, юношеский период, зрелый возраст, пожилой и старческий. Каждый этап развития человека характеризуется своими особенностями. Так, грудной период, характеризуется интенсивным ростом и развитием ребенка, он учится говорить и ходить, в дошкольный и школьный периоды происходит дальнейшее развитие личностных качеств человека, интенсивный рост опорно-двигательного аппарата и т. д. Совокупность всех последовательных процессов, происходящих с организмом человека на всех этапах его развития, называется *онтогенезом* (или индивидуальным развитием).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бекиш, О.-Я. Л.* Медицинская биология: учеб.-пособ. / О.-Я. Л. Бекиш. — Минск: Ураджай, 2000. — 520 с.
2. *Богданова, Т. Л.* Биология: справочник / Т. Л. Богданова, Е. А. Солодова. — 3-е изд. — М.: АСТ-пресс школа, 2006. — 816 с.
3. *Гаврилова, Л. П.* Медицинская биология и общая генетика / Л. П. Гаврилова, В. В. Потенко, Е. М. Бутенкова. — Гомель, ГомГМУ, 2012. — 212 с.
4. *Заяц, Р. Г.* Пособие по биологии для абитуриентов / Р. Г. Заяц, И. В. Рачковская, В. М. Стамбровская. Минск: Вышш.шк., 1996. — 510 с.
5. *Камлюк, Л. В.* Биология: учеб. пособие / Л. В. Камлюк, Е. С. Шалапенок. — 3-е изд., доп. — Минск: Нар. асвета, 2010. — 222 с.
6. *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.
7. Биология: учеб. для 10-го кл. учреждений общ. сред. образования с рус. яз. обуч. / Н. Д. Лисов [и др.]; под ред. Н. Д. Лисова. — 3-е изд., перераб. — Минск: Народная асвета, 2014. — 270 с.
8. *Мащенко, М. В.* Биология: учеб. пособие / М. В. Мащенко, О. Л. Борисов. — 3-е изд., перераб. — Минск: Нар. асвета, 2011. — 207 с.
9. *Пехов, А. П.* Биология: медицинская биология, генетика и паразитология: учебник для вузов / А. П. Пехов. — 3-е изд., стереотип. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. — 656 с.
10. Биология: учеб. пособие для 7-го кл. общеобразоват. учреждений с рус. яз. обучения / В. Н. Тихомиров [и др.]; под ред. В. Н. Тихомирова. — Минск: Нар. асвета, 2010. — 199 с.
11. *Шепелевич, Е. И.* Биология для школьников и абитуриентов: учеб.-справ. пособие / Е. И. Шепелевич, В. М. Стрельчяня, Т. В. Максимова. — Минск: Адукацыя і выхаванне, 2015. — 640 с.

Учебное издание

Потенко Владимир Владимирович
Боброва Светлана Николаевна
Иванов Александр Сергеевич и др.

БИОЛОГИЯ

**Учебно-методическое пособие
для слушателей подготовительного отделения
медицинских вузов**

Редактор *Т. М. Кожемякина*
Компьютерная верстка *Ж. И. Цырыкова*

Подписано в печать 03.04.2017.
Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная 90 г/м². Гарнитура «Гаймс».
Усл. печ. л. 11,63. Уч.-изд. л. 12,71. Тираж 80 экз. Заказ № 200.

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