

Е. А. Очкур, Ж. Ж. Курмангалиева,
М. А. Нуртаева

БИОЛОГИЯ

Учебник для 10 классов
естественно-математического направления
общеобразовательных школ

10

*Утверждено Министерством образования
и науки Республики Казахстан*

Часть 2



Алматы "Мектеп" 2019

УДК 373.167.1
ББК 28.0я72
О-95

Как работать с учебником

Содержание учебника отражает сложность и многогранность биологии как науки о живой природе. Главное — не только основательно усвоить учебный материал, но и научиться применять знания в практической деятельности.

Выполнение домашнего задания начинайте с чтения параграфа. При этом пользуйтесь рисунками, на которые есть ссылки.

Закончив чтение параграфа, объясните термины и понятия, выделенные *курсивом* и **жирным** шрифтом. Это — главное из всего, что вы узнали при чтении. После этого запомните и биологически обоснуйте ключевые понятия. Затем приступите к ответам на вопросы и заданиям в конце параграфа под значками:



— Знать



— Анализировать



— Понимать



— Синтезировать





— Применять



— Оценивать

Для углубления знаний по биологии читайте дополнительную литературу, список которой приведен в конце учебника.

Продуманная система заданий, вопросов, иллюстрации облегчат вам самостоятельную работу с учебником.

Там, где к параграфу требуется выполнение лабораторной работы, она дается под значком . Лабораторные работы проводятся в классе. Работы по моделированию обозначены знаком . Рубрика "Это интересно!" выделена в рамке.

В заключении каждого раздела даются вопросы и задания по обобщению и систематизации знаний. В конце учебника дается толковый словарь понятий с биологическим обоснованием.

Очкур Е. А. и др.

О-95 **Биология.** Учебник для 10 кл. естеств.-матем. направления общеобразоват. шк. Часть 2 / Е. А. Очкур, Ж. Ж. Курмангалиева, М. А. Нуртаева. — Алматы: Мектеп, 2019. — 256 с.: ил.

ISBN 978-601-07-1235-5

О $\frac{4306021100-097}{404(05)-19}$ 61(1)-19

УДК 373.167.1
ББК 28.0я72

© Очкур Е. А., Курмангалиева Ж. Ж.,
Нуртаева М. А., 2019

© Издательство "Мектеп",
художественное оформление, 2019

Все права защищены

Имущественные права на издание
принадлежат издательству "Мектеп"

ISBN 978-601-07-1235-5

КЛЕТочный цикл

7

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ

8

**ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ.
ОСНОВЫ СЕЛЕКЦИИ.
РАЗНООБРАЗИЕ ЖИВЫХ
ОРГАНИЗМОВ**

9

КООРДИНАЦИЯ И РЕГУЛЯЦИЯ

10

ДВИЖЕНИЕ

11

**БИОМЕДИЦИНА И
БИОИНФОРМАТИКА**

12

БИОТЕХНОЛОГИЯ

13

7

КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ

§ 61. МИТОЗ. ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ В КЛЕТКЕ
В РАЗЛИЧНЫЕ ФАЗЫ МИТОЗА

Сегодня на уроке вы:

- изучите митоз, его фазы;
- научитесь характеризовать процессы, составляющие жизненный цикл клетки, фазы митотического деления.

Знаете ли вы?

- Как происходит деление соматических клеток? Что называют митотическим циклом? Каковы особенности фаз митоза?

Ключевые
понятия:

- интерфаза
- митоз
- профаза
- метафаза
- анафаза
- телофаза
- амитоз
- кариокинез
- цитокинез

Способность к делению — важнейшее свойство клеток. Существует три способа деления: митоз — непрямоe деление клеток, которое присуще в основном соматическим клеткам; амитоз — прямоe деление клеток; мейоз — деление, характерное для фазы созревания половых клеток.

Митоз является основным способом деления эукариотических клеток, при котором происходит равномерное распределение генетического материала материнской клетки между ядрами двух дочерних клеток.

Перед митозом идет подготовка клетки к делению, или *интерфаза*. Интерфаза и собственно митоз вместе составляют *митотический цикл*.

Интерфаза состоит из трех периодов: *пресинтетического* — G_1 , *синтетического* — S и *постсинтетического* — G_2 .

В пресинтетическом периоде (G_1) клетка запасает вещества, необходимые для деления: ферменты, аминокислоты, молекулы АТФ. Осуществляется интенсивный процесс метаболизма.

В синтетическом периоде (S) происходит удвоение генетического материала путем репликации ДНК. Кроме того, продолжается синтез белков, число хромосом увеличивается в кратном отношении.

В постсинтетическом периоде (G_2) органеллы удваиваются, накапливается энергия.

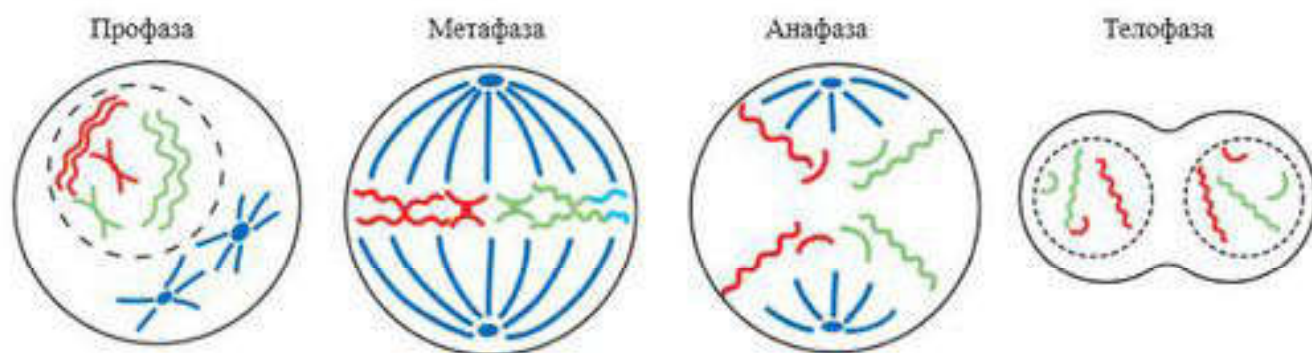


Рис. 122. Фазы митоза

Фазы митоза. Митоз подразделяется на четыре основные фазы: профаза, метафазу, анафазу и телофазу (рис. 122).

Профаза — фаза подготовки деления ядра. В результате спирализации хромосомы укорачиваются, утолщаются; становятся видны в световой микроскоп хромосомы, состоящие из двух хроматид. При этом ядрышко исчезает, центриоли расходятся к полюсам клетки и формируется ахроматиновое веретено деления. Ядерная мембрана под действием ферментов растворяется, цитоплазма и карноплазма сливаются, хромосомы начинают двигаться к экватору.

Метафаза. Хромосомы двигаются к экватору клетки, образуя на экваторе метафазную пластинку. К хромосомам в области перетяжек прикрепляются ахроматиновые нити. На этой стадии деления хромосомы наиболее уплотнены и имеют характерную форму.

Анафаза. Нити веретена тянут хроматиды к противоположным полюсам клетки. Каждая хромосома разрывается на две хроматиды, которые с этого момента называются *дочерними хромосомами*. Содержание генетического материала в клетке у каждого полюса представлено диплоидным набором хромосом, но каждая хромосома содержит одну хроматиду.

Телофаза. Телофаза является последней фазой митоза. Вокруг хромосом у каждого полюса из мембранных структур цитоплазмы формируется ядерная оболочка, в ядрах образуются ядрышки. Разрушается веретено деления. Одновременно идет деление цитоплазмы — *цитокинез*. В результате образуются две дочерние клетки.

Краткие выводы

Биологическое значение митоза:

1. Митоз является одним из важных этапов размножения, роста и развития клетки.
2. Генетический материал материнской клетки синхронно распределен между дочерними клетками и является родительской копией.
3. Сохраняется диплоидный набор хромосом.

4. В случае нарушения процесса митоза изменяется число хромосом, происходят мутации. Длительность митоза у разных клеток бывает разной.

Число хромосом. Один вид отличается от другого количеством хромосом. Хромосомы каждого вида содержат генетическую информацию, которая сохраняет генетические свойства вида. Полный набор хромосом называется *диплоидным*, одинарный набор — *гаплоидным*. В геноме человека присутствуют 23 пары хромосом: 22 пары аутосомных хромосом — это одинаковые хромосомы как для мужского, так и для женского организма. 23-я пара хромосом — это половые; у мужской особи XY, а у женской XX. Соматическим клеткам присущ диплоидный набор хромосом, в то время как половым — гаплоидный.



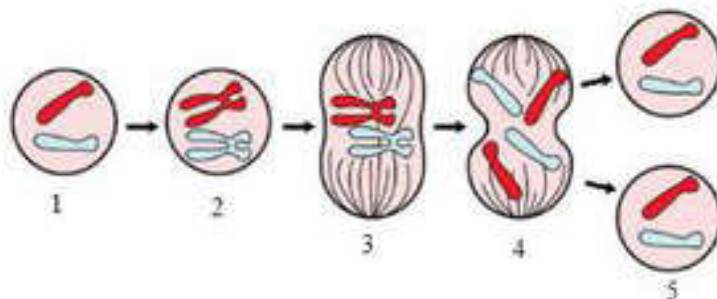
Проверьте свои знания:



1. Охарактеризуйте интерфазу.
2. Назовите события, происходящие в профазе митоза.
3. Какими событиями характеризуется метафаза?
4. Дайте характеристику анафазе.
5. Какие процессы происходят в телофазе митоза?
6. В чем заключается биологическая роль митоза?
7. Изменяется ли число хромосом при митозе?



Объясните по схеме процесс деления клетки.



Перенесите таблицу в тетрадь и заполните ее.

Фазы митоза	Изменения в хромосомах



Вставьте в текст пропущенные слова.

...состоит из G₁, S, G₂ периодов. Содержание генетического материала в клетке у каждого полюса представлено диплоидным набором хромосом, но каждая хромосома содержит... В метафазе хорошо видны хромосомы, состоящие из двух хроматид. Хромосомы, расположенные на экваторе, начинают прикрепляться к... Соматическим клеткам присущ... набор хромосом, в то время как половым... В случае нарушения процесса митоза изменяется число хромосом, они... или...



Подготовьте электронную презентацию по теме урока.



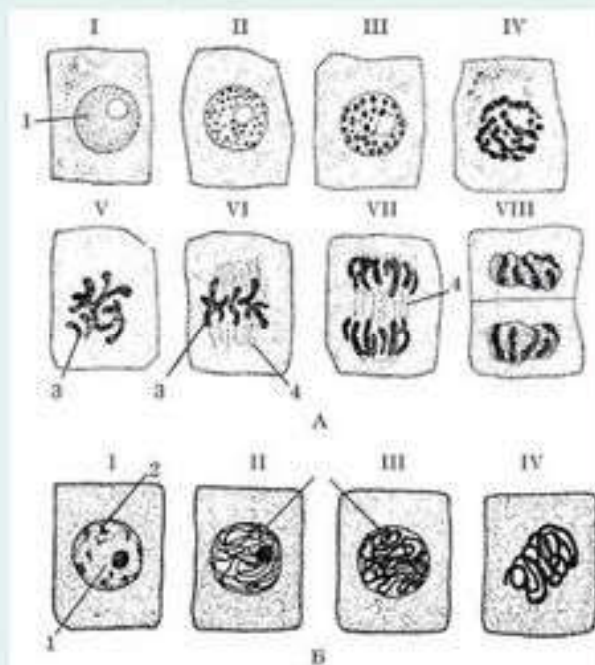
Лабораторная работа №7. Определение уровня митотической активности в клетках корешка лука

Цель: исследовать фазы митоза в клетках корешка лука.

Материалы и оборудование: световые микроскопы, микропрепараты "Митоз в клетках корешка лука".

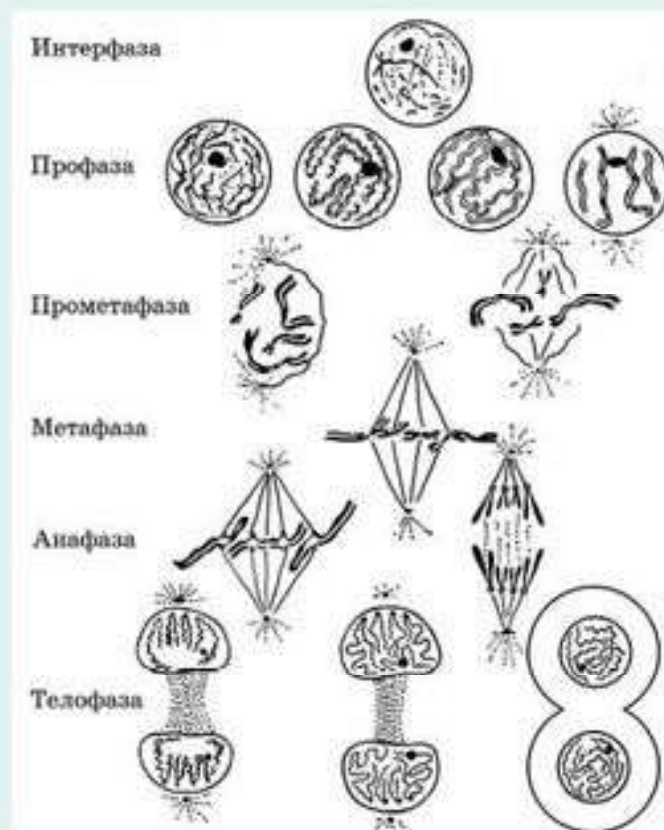
Ход работы:

1. Рассмотрите готовый микропрепарат, найдите клетки на всех стадиях митоза.



2. Определите набор хромосом в каждой фазе митоза.

3. Охарактеризуйте особенности каждой наблюдаемой стадии митоза.



4. Опишите особенности стадий и сделайте рисунок. Заполните таблицу в тетради.

Название стадии	Особенности стадии	Рисунок
Анафаза		
Профаза		
Метафаза		
Телофаза		

5. В чем заключается биологическая роль митоза?

Вывод: биологическое значение митоза состоит в строго одинаковом распределении хромосом между дочерними ядрами, что обеспечивает образование генетически идентичных дочерних клеток и сохраняет преемственность в ряду клеточных поколений. Митоз является важным средством поддержания постоянства хромосомного набора. В результате митоза осуществляется идентичное воспроизведение клетки.

Вопросы для закрепления:

1. Подумайте, могут ли условия окружающей среды повлиять на процесс митоза. К каким последствиям для организма это может привести?

2. Почему в ходе митоза образуются дочерние клетки с набором хромосом, равным набору хромосом в материнской клетке? Какое это имеет значение в жизни организмов?

Задание. Заполните в тетради таблицу "Митотический цикл клетки".

Фазы		Процесс, происходящий в клетке	Количество хромосом (n) и содержание ДНК (c)
Интерфаза (фазы между делениями)	Пресинтетический период		
	Синтетический период		
	Постсинтетический период		
Профаза (первая фаза митоза)			
Метафаза (фаза скопления хромосом)			
Анафаза (фаза расхождения хромосом)			
Телофаза (фаза окончания деления)			

§ 62. ГАМЕТОГЕНЕЗ У ЖИВОТНЫХ. ГАМЕТЫ. СТАДИИ ГАМЕТОГЕНЕЗА

Сегодня на уроке вы:

- изучите гаметогенез у животных;
- научитесь объяснять особенности формирования гамет у животных.

Знаете ли вы?

- Как развиваются новые особи в результате оплодотворения? Каковы особенности процессов сперматогенеза и овогенеза?

Гаметогенез — это процесс образования и созревания половых клеток. Половые клетки (гаметы) — это специализированные клетки, обеспечивающие в результате оплодотворения развитие новых особей с признаками и свойствами своих родителей.

Половые клетки имеют свои особенности. Наиболее важной из них является гаплоидный набор хромосом в ядре, который обеспечивает восстановление диплоидного числа хромосом в зиготе, что характерно для каждого организма. У человека кариотип 46 хромосом возникает при слиянии яйцеклетки и сперматозоида, образуя зиготу, которая имеет 23 пары хромосом. Этот набор характерен для соматических клеток человека.

Различают два процесса образования половых клеток — сперматогенез и овогенез (рис. 123).

Сперматогенез — это процесс формирования мужских половых клеток — сперматозоидов. У человека он происходит в трех зонах семенника: размножения, роста, созревания и формирования.

Зона размножения. На этом этапе первичные половые клетки делятся митотически, вследствие чего образуются диплоидные клетки. Молодые клетки размножаются, образуются *сперматогонии* (первичные половые клетки).

Количество сперматогоний у разных животных различное. Большая часть из них делится путем митоза, их количество увеличивается и переходит в следующую зону сперматогенеза — зону роста.

Зона роста — это период интерфазы между митозом и мейозом, в течение которого удваивается ДНК. В конце этой фазы каждая диплоидная клетка имеет хромосому, состоящую из двух хроматид, т. е. она готова к делению. Сперматогонии дифференцируются в другой

Ключевые понятия:

- гамета
- гаметогенез
- размножение
- рост
- овогенез
- сперматогенез
- созревание

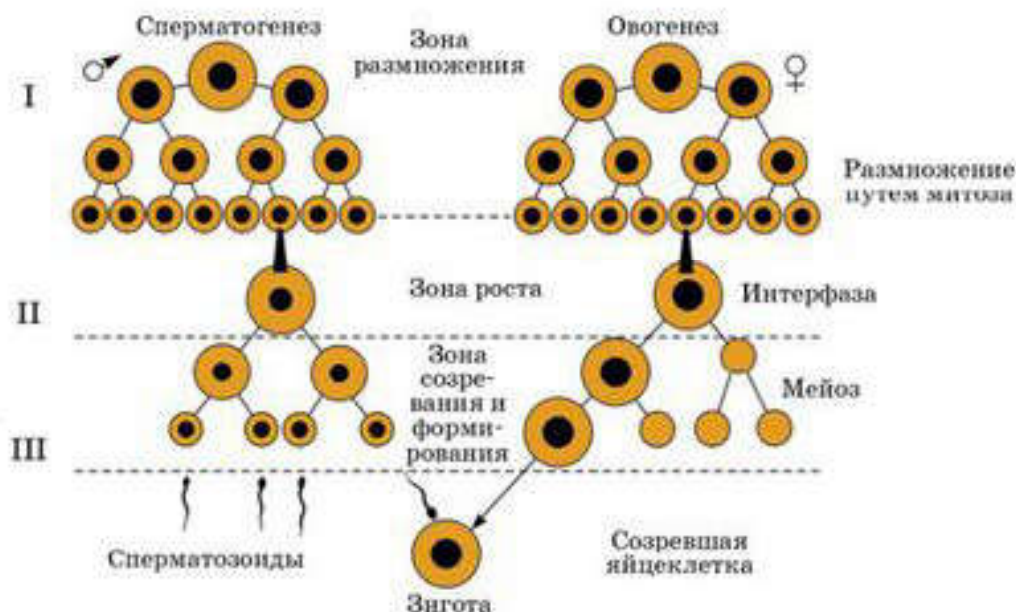


Рис. 123. Схема сперматогенеза и овогенеза

клеточный тип — первичные сперматоциты. К этому времени объем сперматоцитов увеличивается примерно в четыре раза.

Зона созревания и формирования. В этой зоне происходят два деления: мейоз I и мейоз II. Мейоз I сопровождается редукционным делением, при котором образуются две гаплоидные клетки.

При втором мейотическом делении в сперматогенезе из двух гаплоидных клеток образуются четыре сперматоцита, из которых формируются четыре сперматозоида.

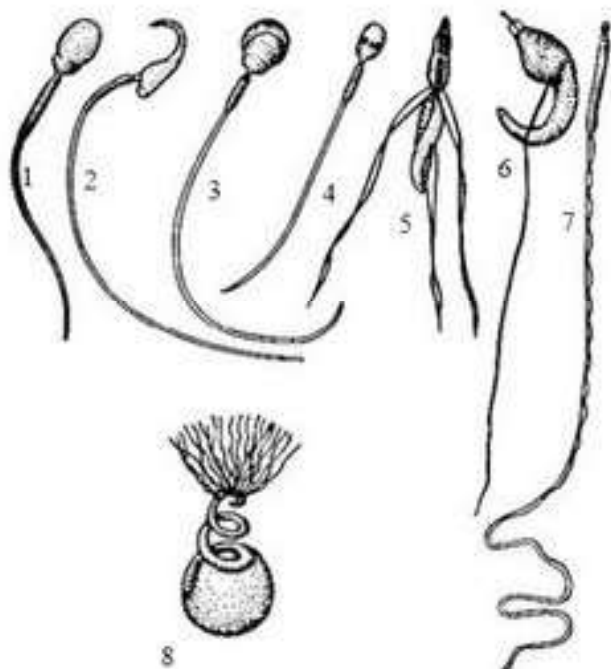


Рис. 124. Виды сперматозоидов у разных организмов:

- 1 — заяц, 2 — мышь, 3 — морская свинка,
- 4 — человек, 5 — рак, 6 — паук, 7 — жук,
- 8 — сальвиния

У разных организмов сперматозоиды отличаются формой и размерами (рис. 124), но, как правило, они состоят из головной и хвостовой части. В сперматозоидах образуются ферменты и лизосомы, которые необходимы для растворения оболочки яйцеклетки; у основания хвоста сперматозоидов в большом количестве собираются митохондрии, выполняющие функцию синтеза АТФ, и тем самым обеспечивается движение жгутика.

Существуют значительные различия между процессами *сперматогенеза* и *овогенеза* (табл. 11).

Овогенез — это процесс образования зрелых женских половых

клеток — яйцеклеток. У человека он происходит в яичниках и состоит из трех зон: размножения, роста, созревания и формирования. Периоды размножения и роста аналогичны таковым, как в сперматогенезе, но происходят еще во время внутриутробного развития. При этом на стадии размножения образуются диплоидные овогонии (первичные женские половые клетки), которые на стадии роста превращаются в диплоидные первичные овоциты, или овоциты первого порядка. На этой стадии происходит активный синтез всех видов РНК и других белковых веществ и клетка начинает расти до определенного размера.

Таблица 11

Сравнение процессов сперматогенеза и овогенеза

Овогенез	Признаки	Сперматогенез
До рождения	Увеличение клеток	При половом созревании и при окончании полового созревания
1 яйцеклетка	Количество гамет, образуемых от одной клетки половых желез	4 сперматозоида
Большое количество	Цитоплазма гамет (митохондриальная ДНК)	Малое количество (отсутствуют)
Имеет оболочку из микроворсинок (лучистый венец)	Защитные клетки оболочки	Не имеет
Нет. Но может встречаться у губок и кишечнополостных	Подвижность гамет	Имеется за счет наличия хвоста

В зоне созревания и формирования в отличие от сперматогенеза образуется одна гаплоидная клетка, а вторая — направительное (полярное) тельце. При втором делении гаплоидная клетка делится на один овоцит и направительное (полярное) тельце. Направительное тельце первого деления тоже делится еще на два, так образуются, как в сперматогенезе, четыре клетки, из которых только одна крупная гаплоидная формируется в яйцеклетку и три направительных тельца погибают.

Яйцеклетка снаружи имеет оболочку из микроворсинок (лучистый венец), которая выполняет защитную функцию.

После созревания половые клетки готовы к оплодотворению. Оплодотворяет яйцеклетку только один сперматозоид, тот который первым достигает ядра яйцеклетки и сливается с ним. После слияния ядер образуется зигота с одним общим ядром. Иногда у животных соединяются по несколько пар гамет. Например, это происходит у рыб и земноводных. Так, у рыб при оплодотворении икры наблюдается большая частота встречаемости сперматозондов и яйцеклеток.

Такие же процессы могут возникать и при внутреннем оплодотворении. Змеи и грызуны обычно могут производить несколько яиц. У крупных животных этот процесс происходит реже, а у мелких — чаще. Например, слоны обычно не рожают двойню, а мыши и кошки часто имеют большое количество потомства. Человек может иметь одинайцовых (из одной яйцеклетки, один генотип) и разнояйцовых (разные яйцеклетки, разные генотипы) близнецов.

Партеногенез (от греч. *parthenos* — “девушка” и *genesis* — “происхождение”) — это форма полового размножения без оплодотворения. Такой тип размножения характерен для многих растений (ястребинки и др.). В животном мире партеногенез свойственен многим беспозвоночным (дафнии, коловратки, гли, пчелы и др.).

Например, партеногенез встречается у низших ракообразных — дафний, у которых из неоплодотворенных клеток развиваются партеногенетические самки (весной, летом, в начале осени). Оплодотворенные яйца перезимовывают, и весной из них развиваются самки, способные к партеногенезу. Самцы появляются осенью.

Известный российский генетик Б. Л. Астауров путем искусственного партеногенеза получил особи тутового шелкопряда, способные к размножению. При воздействии высоких температур на яйца шелкопряда процесс мейоза останавливался и образовывались клетки с диплоидным набором хромосом. В результате дальнейших работ Б. Л. Астауровым были получены полиплоиды (особи с увеличенным числом набора хромосом) тутового шелкопряда, способные к партеногенетическому размножению. Разработанные Б. Л. Астауровым методы нашли широкое применение в промышленном шелководстве.

У пчел партеногенез отличается, т. к. из неоплодотворенных яиц развиваются только самцы (трутни), а из оплодотворенных яиц — самки, незрелые самки (рабочие пчелы). Было доказано, что в некоторых случаях партеногенетические организмы можно получать искусственно — путем воздействия высоких и низких температур. Например, при нагревании неоплодотворенных яиц лягушки и дополнительном раздражении иглой удавалось получить партеногенетических самок.



Проверьте свои знания:



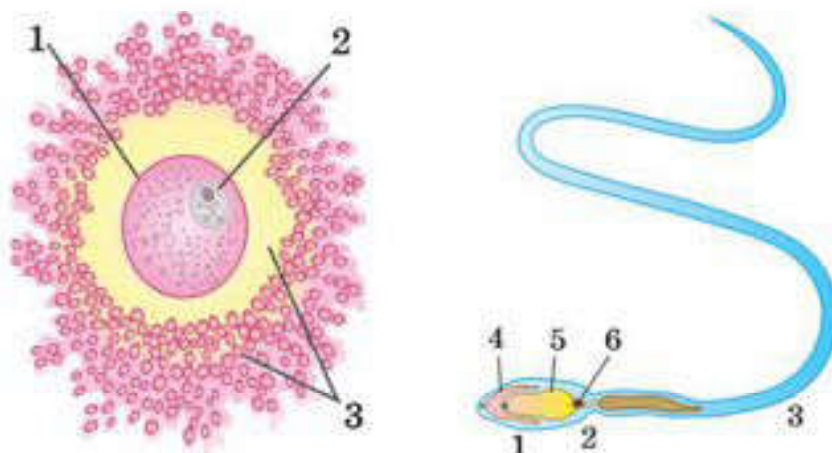
1. Расскажите об особенностях половых клеток.
2. Что такое *гаметогенез*?
3. Что такое *партеногенез*?
4. Расскажите, чем отличается партеногенез у разных групп живых организмов.



Охарактеризуйте стадии гаметогенеза.



1. Сделайте вывод об особенностях строения и функций половых клеток.
2. Опишите структуру половых клеток, используя рисунки.



Ответьте на тестовые вопросы:

1. Что такое гаметогенез?

а) образование гамет;	б) деление клетки;
в) разрушение гамет;	г) клетка.
2. С какой зоны начинается процесс гаметогенеза?

а) с зоны роста;	б) с зоны формирования;
в) с зоны размножения;	г) с зоны созревания.
3. Как называется процесс формирования мужских половых клеток?

а) гаметогенез;	б) сперматогенез;
в) овогенез;	г) партеногенез.
4. Как называется процесс формирования женских половых клеток?

а) гаметогенез;	б) сперматогенез;
в) овогенез;	г) партеногенез.
5. Как называется процесс развития яйцеклетки без оплодотворения?

а) гаметогенез;	б) сперматогенез;
в) овогенез;	г) партеногенез.
6. В какой зоне гаметогенеза проходит мейоз?

а) формирования;	б) размножения;
в) роста;	г) созревания.



Подготовьте мини-проект на тему: "Гаметогенез у животных".

§ 63. СПОРОГЕНЕЗ И ГАМЕТОГЕНЕЗ У РАСТЕНИЙ

Сегодня на уроке вы:

- изучите спорогенез и гаметогенез у растений;
- научитесь объяснять особенности формирования гамет у растений.

Знаете ли вы?

- Как образуются мужские половые клетки? Как образуются женские половые клетки? Каковы особенности сперматогенеза и овогенеза?

Ключевые понятия:

- *гаметофит мужской*
- *гаметофит женский*
- *двойное оплодотворение растений*

Процесс формирования половых клеток у растений подразделяется на два этапа: 1-й этап — **спорогенез**, который завершается образованием гаплоидных клеток — спор, 2-й этап — **гаметогенез**, в течение которого образуются зрелые гаметы.

Развитие женского гаметофита (рис. 125). Женский гаметофит, или зародышевый мешок, развивается внутри семязачатка. Процесс гаметогенеза у растений в принципе сходен с таковым у животных, но протекает несколько отличным путем. У растений отсутствует зачатковый путь, т. е. раннее обособление половых клеток. В качестве примера мы рассмотрим микроспорогенез и микрогаметогенез покрытосеменных растений. В субэпидермальной ткани молодого пыльника, называемой *археспорием*, каждая клетка после ряда делений становится материнской клеткой пыльцы, которая проходит все фазы мейоза.

В результате двух мейотических делений возникают четыре гаплоидные микроспоры. Так как они группируются по четыре, они именуется *клеточными тетрадами*. Каждая из клеток тетрады гаплоидна.

При созревании тетрады распадаются на отдельные микроспоры, три из которых дегенерируют, и только одна клетка продолжает развиваться, претерпевая в дальнейшем три митотических деления.

В результате трех митотических делений в зародышевом мешке образуются 8 одинаковых гаплоидных ядер, из которых только одно образует яйцеклетку, пять образуют зародышевый слой, а две другие гаплоидные клетки, сливаясь, превращаются в центральную клетку с диплоидным набором хромосом. Таким образом, гаплоидная яйцеклетка и центральная диплоидная клетка становятся готовыми к оплодотворению.

Развитие мужского гаметофита (рис. 125). Этот процесс происходит в пыльнике. В результате двух мейотических делений из одной клетки образуются 4 клетки с гаплоидным набором. Одна из них проходит первое митотическое деление. Это приводит к образованию гаплоидной

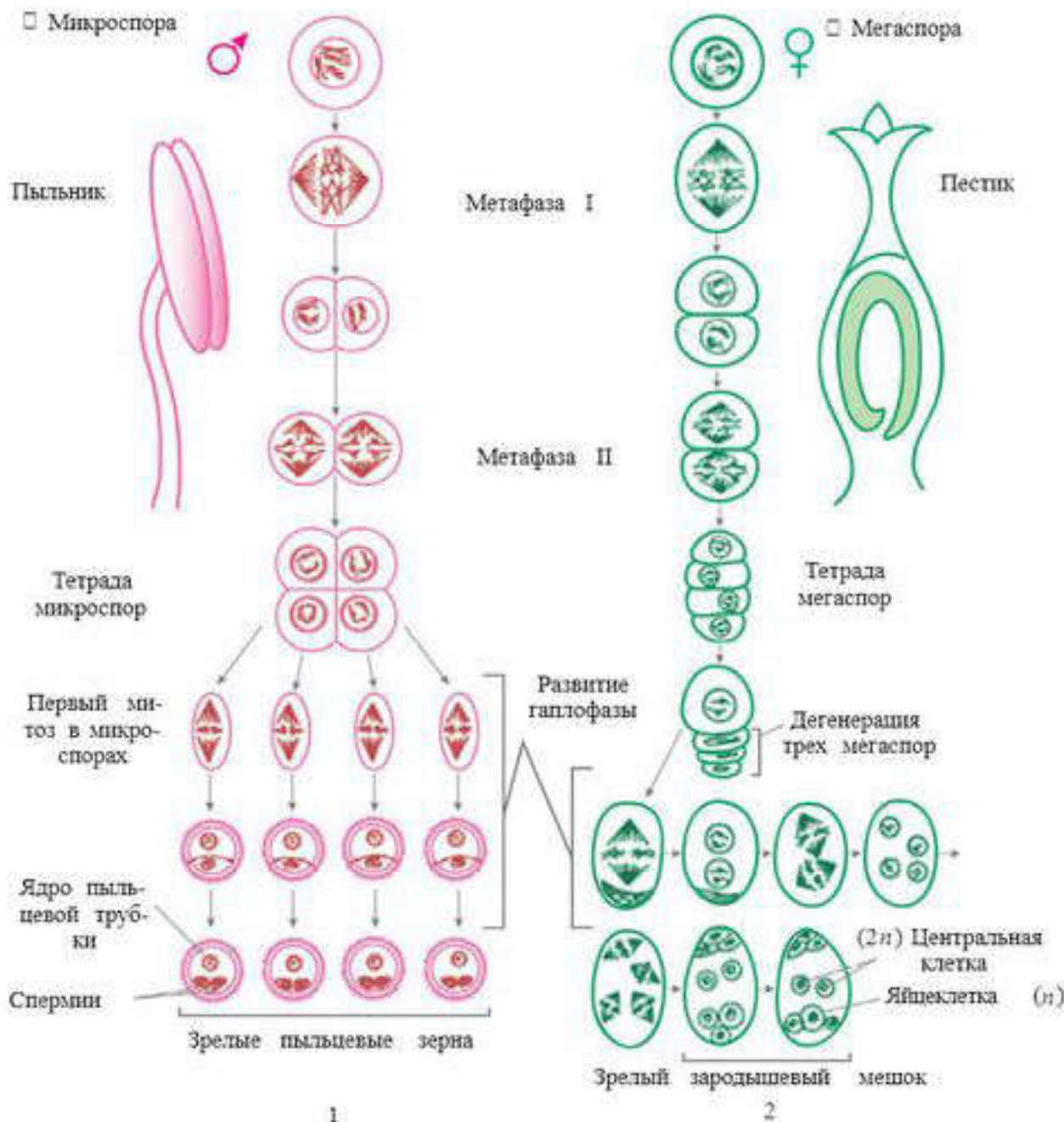


Рис. 125. 1 — развитие мужского гаметофита;
2 — развитие женского гаметофита

вегетативной и диплоидной генеративной клеток. В дальнейшем генеративная клетка не делится, в ней накапливаются запасные питательные вещества, которые в последующем обеспечивают деление и развитие двух спермиев. Так образуются две мужские половые клетки, которые не способны к движению. Называются они *спермиями*.

Таким образом, из одной споры с гаплоидным набором хромосом в результате двух митотических делений образуются три ядра: два из них — спермии и одно — вегетативное. Один из спермиев с гаплоидным набором оплодотворяет яйцеклетку, а второй оплодотворяет центральное ядро. В результате этого образуется зигота, имеющая диплоидный набор, и клетка с триплоидным набором. Из клетки с триплоидным набором формируется эндосперм, который является запасным компонентом семени.

В эндосперме содержатся органические вещества: жиры, белки, углеводы. Таким образом, два спермия оплодотворяют две клетки: один — яйцевую, другой — центральную. Этот процесс получил название *двойного оплодотворения* у цветковых растений. Двойное оплодотворение у покрытосеменных растений было открыто в 1898 г. русским ботаником С. Г. Навашиным. В 1915 г. его сын М. С. Навашин сделал открытие, что эндосперм зародыша триплоиден.

Таким образом:

- Рассмотренный процесс образования из женского гаметофита восьми ядер или восьми клеток у различных классов растений протекает по-разному.

- У цветковых растений после оплодотворения образуются диплоидная зигота, триплоидный эндосперм и пять гаплоидных ядер или клеток. В процессе оплодотворения один из спермиев сливается с яйцеклеткой, а второй — с центральной клеткой. В результате слияния яйцеклетки и спермия образуется зигота, а второй спермий, сливаясь с центральным ядром, образует триплоидный эндосперм (питательную ткань зародыша).

- Филогенетическое расхождение (дивергенция) у растений и животных происходило на ранней стадии формирования клеточной структуры. Тем не менее, сравнивая созревание половых клеток растений и животных, их развитие оказывается схожим.



Проверьте свои знания:



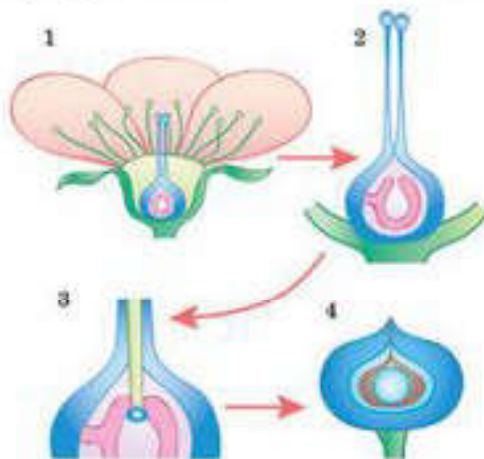
1. Как называется процесс образования гамет?
2. Что такое *сперматогенез*?
3. Как происходит развитие женского гаметофита?
4. Что такое оплодотворение?



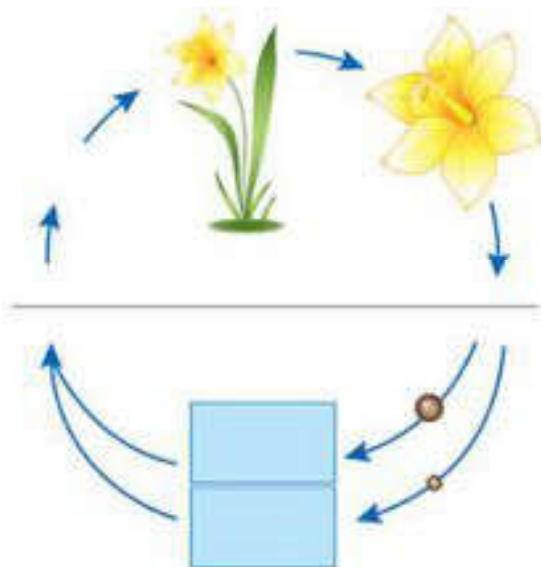
Дайте характеристику двойному оплодотворению у цветковых растений.



1. Что изображено на рисунке? Напишите названия частей, объясните явление.



2. Ответьте на вопросы.
1. Что представляют собой мужской и женский гаметофит?
 2. Как происходит образование спор и гамет у цветковых растений?
 3. Можно ли назвать цветок половым органом растения?
 4. Опишите схему, изображенную на рисунке.



Найдите интересные факты о гаметогенезе у растений, подготовьте сообщение.

§ 64. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ НОВООБРАЗОВАНИЙ

Сегодня на уроке вы:

- изучите возникновение онкологических новообразований;
- научитесь объяснять возникновение онкологических новообразований неконтролируемым делением клеток.

Знаете ли вы?

- Что такое канцерогенез?
- Что может привести к возникновению раковых заболеваний?

Канцерогенез — это процесс развития злокачественных новообразований. Многие мутагенные факторы повышают канцерогенность. Образование злокачественных опухолей приводит к раковым заболеваниям, являющимся одними из самых опасных заболеваний XX—XXI вв.

Ключевые понятия:

- канцерогенез
- ретровирус
- протоонкогены
- анемия Фанкони

Раковые клетки отличаются от здоровых по двум особенностям: 1) обычные клетки делятся определенное количество раз, а затем прекращают деление и отмирают; раковые клетки способны делиться бесконечно, поэтому они вызывают механическое повреждение организма, растут и размножаются и в конечном итоге приводят к его смерти; 2) раковые клетки распространяются в организме и образуют метастазы, т. е. они распространяются через лимфатическую или кровеносную системы в другие органы и ткани, где образуются новые опухоли.

Любая клетка организма, способная делиться, может стать раковой. Однако, как клетки могут стать раковыми и какие факторы влияют на это — до сих пор неизвестно. Ясно только одно: в злокачественных клетках нарушен механизм регуляции генов. Является ли рак наследственным заболеванием — это еще одна нерешенная проблема. С этой точки зрения есть две гипотезы: одна из них предполагает наследование заболевания, другая — рак не наследуется.

Было установлено, что основными причинами возникновения рака являются *соматические мутации* и *влияние вирусов*. В настоящее время наследуемость 3—4-х типов злокачественных новообразований уже доказана — это один из типов ретинобластомы, анемия Фанкони (малокровие), пигментная ксеродермия и нейрофиброматоз.

Большинство злокачественных новообразований начинаются с соматических мутаций. Соматические мутации в клетках человеческого организма образуются при воздействии различных мутагенных факторов — радиационных излучений, воздействия ультрафиолетовых лучей и химических веществ. Соматические мутации сначала возникают в одной клетке. Если клетка с возникшей в ней мутацией умирает, то соматическая мутация теряется вместе с этой клеткой, а если мутированная клетка продолжает делиться и размножаться, то во всех поколениях этой клетки мутации будут сохранены.

В результате соматических мутаций в организме образуется “мозаика”, где вместе с нормальными здоровыми клетками имеются и мутантные клетки. Кроме того, в мутантной клетке нарушается хромосомная стабильность, что приводит к различным другим мутациям (делециям, транслокациям, дупликациям). В результате этого такие клетки быстро растут, размножаются и становятся злокачественными, например, анемия Фанкони — это заболевание, которое возникает у детей младшего возраста, его особенности — нарушение скелета, особенно костей пальцев, тазобедренных костей, недоразвитие костных клеток, образование эритроцитов в малом количестве. На рисунке представлена схема общего механизма влияния соматических мутаций на образование злокачественных новообразований (рис. 126).

Еще одно раковое заболевание — наследственная форма ретинобластомы. Это заболевание проявляется у детей в виде злокачественной опухоли глаз. При несвоевременном лечении данного заболевания опухоль может перейти в мозг и привести к летальному исходу. Существует две формы ретинобластомы, одна из которых наследственная, а другая ненаследственная. Наследственная форма ретинобластомы характеризуется доминантно-аутосомным типом наследования. Ее проявление состоит из двух этапов: 1) мутации сначала происходят в половых клет-

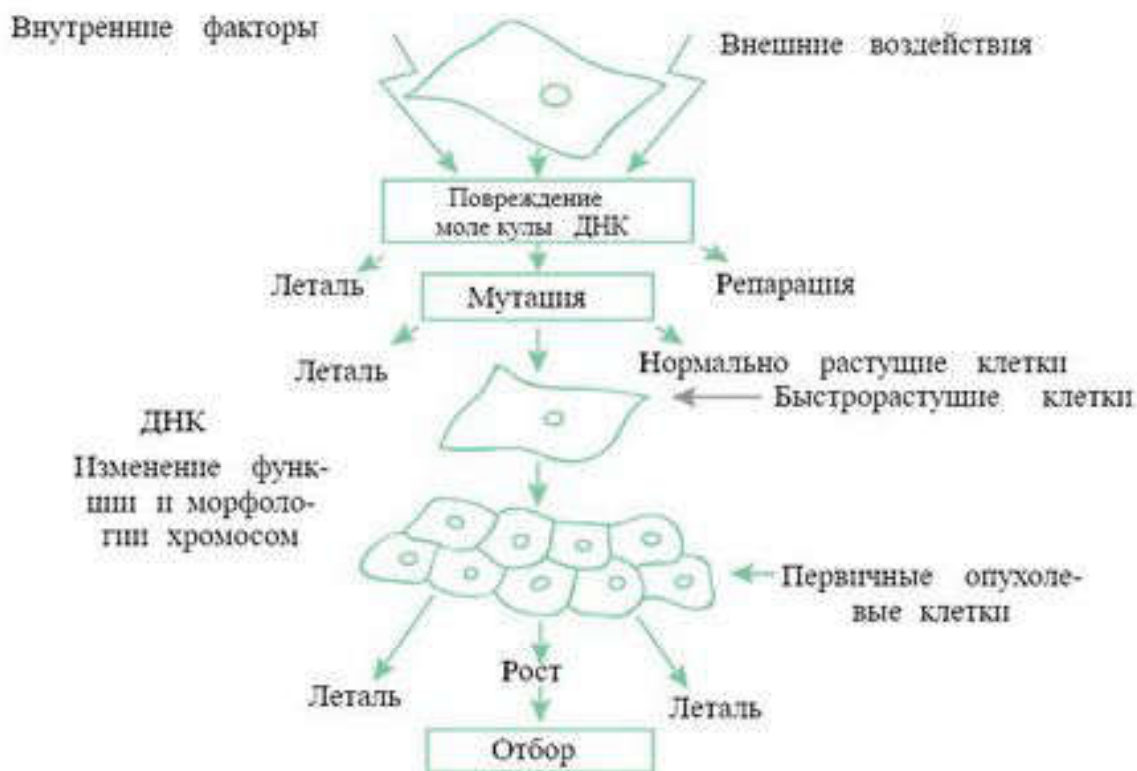


Рис. 126. Схема возникновения злокачественной опухоли (рака)

ках, а после приводят к образованию соматических мутаций; 2) одна из клеток начинает активно расти и приводит к ретинобластоме. Ген ретинобластомы расположен в длинном плече 13-й хромосомы.

Влияние вирусов также связывают с канцерогенезом. Как показали прогнозы, некоторые вирусы могут вызывать злокачественные новообразования. В 1950 г. американский ученый Р. Дульбекко провел опыт по введению грызунам вируса обезьяны и обнаружил, что у них возникает рак. В последнее время установили, что многие раковые заболевания и лейкозы вызываются вирусами. Известно, что у многих вирусов, вызывающих злокачественные новообразования, генетический материал представлен в виде молекулы РНК. Тогда каким образом РНК вируса может объединиться с молекулой ДНК?

В 1970 г. Г. Темин и Д. Балтимор независимо друг от друга обнаружили способность РНК-содержащих вирусов поражать клетки вследствие так называемой обратной транскрипции. Такие РНК-вирусы называются *ретровирусами*. Обратная транскрипция — это возможность передачи генетической информации не от ДНК к РНК, а, наоборот, от молекулы РНК к ферменту ДНК-полимеразе и уже от него — к клетке, которая в результате перерождается в опухолевую.

Вирусная РНК содержит гены, которые необходимы для их жизнедеятельности, а также онкогены, которые могут преобразовывать нормальные клетки в раковые. Эти гены называются *v-onc*-онкогенами,

в общей сложности их насчитывается около 20. Интересно, что подобные гены встречаются в нормальных клетках у человека, но сами по себе они не могут превращать нормальные клетки в раковые, напротив, они играют очень важную роль на ранних этапах онтогенеза. Эти гены называются *протоонкогенами c-онс*.

Злокачественная опухоль (рак) является опасным заболеванием, так как раковые клетки быстро размножаются и распространяются вокруг тканей органов, которые в быстром времени переходят в кровоток, а затем разрушают структуры тела.

Пациенты обращаются к врачу поздно, потому что не замечают протекания заболевания и быстрого распространения рака. Очень трудно вылечить рак на его поздних стадиях. Легче предотвратить раковое заболевание, чем его лечить.

Дополнительные сведения

В последнее время раковые заболевания встречаются все чаще. В Америке в 1900 г. из 100 тыс. человек 64 человека умерли от рака, но за последние полвека эта цифра достигла 150. По данным Института онкологии в Москве, число больных раком в Советском Союзе было меньшим. В Казахстане наряду с улучшением уровня жизни населения повышается ответственность борьбы с раковыми заболеваниями. Усилились мероприятия по профилактике рака и лечению больных в специальных учреждениях. Однако риск развития рака в сравнении с другими болезнями по-прежнему у высок.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *канцерогенез*?
2. В чем отличие раковых клеток от нормальных?
3. Что такое *ретинобластома*?
4. Что такое *ретровирусы*?



Назовите стадии образования ретинобластомы.



Вставьте в предложения пропущенные слова.

1. Из-за нарушения механизма регуляции... в раковых клетках...
2. Процесс образования злокачественных опухолей называется...
3. Наследственная форма заболевания... характеризуется доминантно-аутосомным типом наследования.
4. РНК вирусы называют...
5. Раковая клетка быстро... и... вокруг тканей органов, которые в быстром времени... , а затем разрушают структуры тела.
6. В 1950 г. американский ученый... провел опыт по введению грызунам... и обнаружил, что у них возникает рак.



Подготовьте мини-проект на тему: "Возникновение онкологических новообразований".

§ 65. ФАКТОРЫ, СПОСОБСТВУЮЩИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЮ ПРЕДРАКОВЫХ СОСТОЯНИЙ

Сегодня на уроке вы:

- изучите факторы, влияющие на возникновение предраковых состояний;
- научитесь объяснять возникновение онкологических новообразований неконтролируемым делением клеток.

Знаете ли вы?

- Какие опухоли бывают?

Ключевые понятия:

- доброкачественные
- злокачественные
- истинные
- неистинные опухоли

В последнее время наука сделала большие открытия в области профилактики рака. Согласно данным, собранным на протяжении веков, рак не возникает в здоровом теле. Затянувшееся заболевание, которое впоследствии становится хроническим, различные незаживающие раны в организме человека являются основой для возникновения раковых заболеваний. Поэтому, если существует риск развития рака, одной из самых действенных мер в борьбе с ним является медицинское обследование и профилактика.

Все опухоли принято делить на доброкачественные и злокачественные.

Доброкачественные образования — этот вид опухоли не передается в здоровые клетки, органы и не образует метастаз, не причиняет вреда организму.

В **злокачественных образованиях** клетки опухоли распространяются в организме, поражая другие органы; приводят организм к смерти. Некоторым доброкачественным опухолям несвойственно переходить в злокачественные опухоли, например, липома, миома; а другие доброкачественные опухоли, такие как уплотнения в толстой кишке (полипы), переходят в злокачественные. Поэтому все доброкачественные опухоли можно разделить на истинные и неистинные (рис. 127). **Истинные** опухоли имеют способность переходить в форму злокачественных новообразований с высокой вероятностью, а у неистинных опухолей эта вероятность очень низка или даже невозможна. **Неистинные** опухоли не оказывают отрицательного влияния на жизнь. Однако с патогенетической точки зрения, т. к. такое разделение опухолей является условным, отсутствие контроля и лечения любых новообразований является серьезной ошибкой. Многие из них следует рассматривать



Рис. 127. Пораженная клетка

канцерогенами. Они могут индивидуальными или в сочетании друг с другом играть решающую роль в возникновении разных форм рака.

Канцерогены могут попасть не только извне, но и возникнуть внутри организма, что связано с нарушениями метаболических процессов в организме. Независимо от малого или большого объема опухолей они могут перемещаться через кровеносные, лимфатические системы и поражать здоровые органы, расположенные далеко от очага основной опухоли. Так образуются *метастазы*, местоположение которых очень разнообразно. Например, при раке молочной железы метастазы часто образуются в плоских костях организма.

Рак является серьезной опасностью для жизни человека, если пациент своевременно не лечится. Предполагается, что рак — наследственное заболевание, причиной этого могут служить нарушения в генетическом материале клетки, а именно — образование в генах мутаций, которые приводят к нарушению регуляции процессов деления клеток, и они становятся автономными, — все эти процессы происходят на молекулярном уровне.

Мутация гена и изменение его функций зависят от многих факторов:

— Курение. Табачный дым содержит химические вещества — канцерогены, способствующие развитию рака: это ароматические углеводороды, радиоактивные вещества, никотин, синильная кислота, оксид мышьяка, никель, хром, кадмий. Предполагается, что они вызывают рак у 50% курящих людей. Например, если эти вещества оказывают длительное воздействие на ткани: губы, гортань, верхние дыхательные пути, легкие, пищевод, то вместе с табачным дымом оказывают двойное негативное влияние на здоровье.

как предраковые изменения. Во-первых, предраковые изменения следует отличать от опухолевых заболеваний. Предраковые изменения не относятся к заболеваниям, но если они долго не лечатся, то могут перейти в раковые заболевания. В жизни оба эти понятия тесно взаимосвязаны.

Раковые заболевания вызываются: вирусами, онкогенами, гормонами, радиационными излучениями, некоторыми химическими веществами, которые называются

— Употребление спиртных напитков. Алкоголь непосредственно воздействует на слизистую оболочку полости рта, пищевода, желудка. Он оказывает двойное вредное воздействие: во-первых — повреждает непосредственно половые клетки, что может привести к наследственной форме рака, во-вторых — повреждает или изменяет здоровые клетки тела.

— Воздействие радиоактивного излучения. У людей, подвергающихся воздействию радиоактивного излучения, наблюдаются мутации в генетическом аппарате, и у большинства из них впоследствии возникают раковые заболевания.

— Канцерогенное воздействие вредных промышленных отходов на организм. Окружающая среда — воздух, почва и вода — тесно связаны с жизнедеятельностью человека. Неполное сжигание транспортного топлива, а также дым от заводов, фабрик содержат канцерогенные вещества, загрязняют окружающую среду, являются причиной воспалительных заболеваний верхних дыхательных путей, трахей, легких, что приводит к изменению клеток слизистых оболочек и может привести к раковым заболеваниям.

Рак развивается постепенно, его скрытый период составляет 20—60 лет. Вирусы, вызывающие рак в организме человека:

1. Вирус Эпштейна — Барра вызывает лимфому Беркитта и рак носовой полости.
2. Вирусы гепатита В, С — причина рака печени.
3. Вирус папилломы вызывает рак половых органов, в частности рак шейки матки.

Здоровье каждого человека зависит от него самого. Важным условием является поддержание здорового образа жизни.

Природа возникновения злокачественных опухолей различна, и их проявления также отличаются. Поэтому при лечении применяются разные методы. Основные методы лечения включают хирургическое вмешательство, химиотерапию и лучевую терапию. Они проводятся в соответствии со стадией развития рака.



Проверьте свои знания:



1. Как вы понимаете выражение “предраковое состояние”?
2. Опишите доброкачественные и злокачественные новообразования.
3. Что такое *канцерогенез*?
4. Назовите факторы, вызывающие генные мутации.
5. Какие вредные вещества вызывают раковые заболевания? Какие из них вы знаете?



Перечислите вирусы, вызывающие злокачественные опухоли в организме человека.



Сопоставьте данные.

Факторы, вызывающие генные мутации	1	Консервированные продукты
	2	Радиоактивные, ионные излучения
	3	Гепатит В, С
Вещества, способствующие возникновению рака	4	Химические вещества табачного дыма
	5	Жиры
	6	Углеводные кулинарные изделия
Вирусы, вызывающие раковые заболевания	7	Спиртные напитки
	8	Вирус Эпштейна — Барра
	9	Вредные промышленные отходы
	10	Заплесневелые арахис и пшеница



Проведите дискуссию на тему: “Факторы, способствующие возникновению предраковых состояний”.

§ 66. СТАРЕНИЕ. ТЕОРИИ О ПРОЦЕССЕ СТАРЕНИЯ

Сегодня на уроке вы:

- изучите процессы старения организма;
- научитесь объяснять процессы старения.

Знаете ли вы?

- Что изучает наука геронтология?
- Что такое синдром Гетчинсона — Гильфорда и Варнера?
- Что такое физиологическая старость?

Ключевые понятия:

- старение
- физиологическое старение
- прогерия
- генотип

Старение — это биологический процесс постепенного снижения жизненных свойств клеток организма. Старение — это заключительный этап онтогенеза, явление, характеризующееся изменением структуры организма, его функциональности и биохимических свойств.

Исследованием проблем старения занимается наука геронтология (гр. *geron* — “старик”). Этот термин впервые был предложен в 1903 году И.И. Мечниковым. В настоящее время геронтология — это многоотраслевая наука, которая включает биологию старения, клиническую геронтологию (герiatrics), геронтопсихологию и социальную геронтологию (герогигиена). Термин *герiatrics* впервые ввел американский врач П.Л. Насер. В 1914 г. он выпустил книгу “Герiatrics: болезни пожилого возраста и их лечение”.

Геронтология изучает основные закономерности старения на молекулярном и клеточном уровнях, особенности развития старения, лечения и профилактики заболеваний.

Во время старения в клетках изменяется водный баланс, теряется эластичность кожи, появляется сухость, происходит истончение кожи и возникают морщины. Также начинают выпадать волосы, появляется седина, понижаются острота зрения и слуха, выпадают зубы.

Одним из примеров старения можно показать изменения в соединительной ткани организма, в результате которых работа таких органов, как легкие, печень, сердце и других внутренних органов нарушается.

Из-за изменений в соединительной ткани у людей пожилого возраста раны и переломы костей заживают медленнее, чем у молодых.

В процессе старения у человека в нервной системе, в железах внутренней секреции, иммунной и кровеносной системах наблюдаются существенные изменения. Изменения в нервной системе приводят к ослаблению условных и безусловных рефлексов и нарушению памяти. У людей пожилого возраста снижается секреция половых желез, щитовидной, поджелудочной, вилочковой желез, гипофиза и надпочечников. Во время старения частота сокращений сердца ослабевает, соответственно, замедляется кровообращение, нарушается процесс дыхания. Это может привести к кислородному голоданию организма (гипоксии).

Уменьшение эластичности кровеносных сосудов приводит к развитию атеросклероза.

С возрастом у человека изменяются процессы гуморальной регуляции сердечно-сосудистой системы.

Старение подразделяют на *нормальное*, или *физиологическое*, и *преждевременное*.

Физиологическое старение — это состояние, когда человек достигает преклонного возраста, но, несмотря на это, обладает хорошим здоровьем, является в меру активным, внимательным и уверенным в себе.

Признаки *преждевременного старения* возникают в относительно раннем возрасте. Это может быть результатом длительной болезни у человека или неблагоприятного влияния окружающей среды (рис. 128).

Современные теории старения, возрастные изменения объясняют нарушением синтеза белка. Это связано с повреждениями в нуклеиновых кислотах (ДНК). В последнее время у организмов с нарушенной иммунной системой антитела разрушают и уничтожают не только



Рис. 128. Раннее старение



Рис. 129. Синдром Гетчинсона — Гильфорда

инородные тела, но и нормальные клетки. Наследственный фактор играет в старении важную роль. У некоторых людей наблюдается преждевременное старение, которое называется *прогерией*. Это наблюдается в случаях при редких наследственных синдромах. Одним из них является синдром Гетчинсона — Гильфорда, аутосомно-рецессивное заболевание детей, передающееся из поколения в поколение (рис. 129). Первые признаки этого заболевания наблюдаются в возрасте одного года, затем болезнь быстро развивается, а в возрасте от 10 до 20 лет приводит к сердечной недостаточности. Рост ребенка замедляется, волосы седеют и начинают выпадать, кожа истончается и шелушится.

Развитие старческих симптомов в возрасте от 15 до 25 лет называется синдромом Вернера. Основной причиной преждевременного старения является снижение подвижности, мышечная недостаточность (гиподинамия).

Из-за старения в организме ухудшается процесс метаболизма, что приводит к снижению потребности в энергетически важных продуктах. Например, у мужчин в возрасте 60—74 лет, проживающих в городе, суточная потребность в энергии составляет 2300 ккал, у женщин — 2100 ккал, а у людей в возрасте после 75 лет этот показатель составляет около 2000 и 1900 ккал. В этом случае еда должна содержать меньшее количество животных жиров и углеводов.

Теории о старении: “Энергетическая теория старения” М. Рубнера (1908). Согласно этой теории, если у организма исчерпан запас энергии, жизненные процессы начинают замедляться, что ведет к разрушению организма (рис. 130). Потребление энергии зависит от массы тела организма, чем большее количество тепла вырабатывается в организме, тем активнее идет энергетический обмен, следовательно, запасы энергии истощаются, и этот организм живет недолго.

У мелких животных отношение общей поверхности тела к весу тела больше, поэтому продолжительность их жизни короче (например, у крыс — 2—3 года, у собак — 20 лет, у слона — 80 лет).

Согласно теории интоксикации (отравления) И.И. Мечникова, явление старения связано с биологическими факторами — физиологическим, патологическим. И.И. Мечников объяснял феномен старения только на основе фагоцитоза. Для предотвращения процесса гниения в кишечнике он предлагал создавать неблагоприятную среду для

гнилостных бактерий путем употребления большего количества молочных продуктов. Академик А. А. Богомольц (1922) прогнозировал, что причиной старения является нарушение межклеточных взаимодействий в организме. Он понимал важность соединительной ткани в процессе старения, которая обеспечивает и регулирует питание клеток и тканей.



Рис. 130. Энергетическая теория старения

Для понимания причин старения важное значение имеет и учение И.П. Павлова (1912), так как центральная нервная система регулирует работу всех органов и систем органов и является центром управления. В результате различных экспериментов И. П. Павлов обнаружил, что стресс и длительная нервная усталость являются факторами, вызывающими раннее старение. В 1940 г. Л.В. Нагорный предсказал, что старение вызывается разрушением синтеза белка в клетках.

Согласно современным теориям, старение является результатом разрушения генетического аппарата клетки. Во время онтогенеза происходит количественное и качественное изменение комплекса нуклеопротеидов, что приводит к изменению жизненно важных свойств живого — самообновления, синтеза белка и др. Во время старения количество гистонов увеличивается, их связь с молекулой ДНК усложняется, что приводит к переходу многих генов из активного состояния в неактивное. Это явление Г. Д. Бердышев (1972) и В. Н. Никитин (1972) заметили в своих экспериментах.

В 90-е г. XX в. американские ученые обнаружили ген “старости” человеческого тела и назвали его геном Клото. Этот ген встречается примерно у 25% человечества. Ген может находиться у организмов в двух или более копиях, и чем больше его содержится в геноме, тем раньше люди стареют. Две копии гена Клото были обнаружены у 3% новорожденных, и только 1,1% — у 65-летних. Однако путем цитологических и молекулярно-биологических исследований были выявлены некоторые механизмы, которые измеряют жизнь клетки или всего организма. Среди них можно выделить “лимит Хейфлика” и теломерную гипотезу А.Оловникова. В 70-е г. XX в. американский врач Л. Хейфлик обратил внимание на то, что клетки живых организмов делятся определенное количество раз. Позже выяснилось, что деление клеток у разных видов различно и оно прямо пропорционально продолжительности жизни организма. Например, у человека (*Homo sapiens*) с продолжительностью жизни в сто лет “лимит Хейфлика” составляет 50 лет, у мышей, которые живут в течение 3 лет, — 15—20.

Таким образом, процесс старения включает: нарушение процесса деления клеток, остановку регенерации тканей, постепенное снижение функций организма, увеличение количества неконтролируемых клеток, нарушение функции митохондрий, изменение биохимических реакций, разрушения в структуре ДНК.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *старение*?
2. Как называется наука, изучающая процесс старения?
3. Назовите типы старения.
4. Что такое *синдром Вернера*?



Что вы знаете об энергетической теории старения?



Дополните текст соответствующими понятиями:

Старение — это результат..., характеризующийся особенностями организма, функциональными и биохимическими изменениями в организме. ...изучает основные закономерности старения на молекулярном и клеточном уровнях, особенности развития старения, лечения и профилактики заболеваний. Большую роль в старении играют... факторы. У некоторых людей наблюдается раннее старение, которое называется...



Проведите дискуссию на тему: "Можно ли замедлить старение?".

Интересно знать!

Поклонники загара и жители южных стран стареют быстрее, чем люди, живущие на севере. Объясняется данное явление просто: все дело в количестве ультрафиолета, получаемого кожей вместе с солнечным светом. Зачастую кожа на лице имеет больший возраст, чем на теле. И это не метафора – клетки, стабильно получающие значительные дозы ультрафиолета, стареют быстрее. Но все-таки совсем прятаться от солнца не стоит, в противном случае вы рискуете серьезно подорвать собственный иммунитет и лишиться себя столь необходимого витамина D.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБОБЩЕНИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИИ ЗНАНИЙ ПО РАЗДЕЛУ

1. Объясните, почему при митозе образуются две диплоидные клетки.
2. В чем заключаются особенности периода интерфазы митоза?
3. Знаете ли вы особенности фаз в период кариокинеза? Объясните.
4. В чем заключается биологическое значение митоза? Дайте определение.
5. Расскажите о различии аутосомных и половых хромосом.
6. Какое различие имеют сперматоциты и сперматозоиды? Охарактеризуйте.
7. Сколько фаз имеет процесс гаметогенеза? Дайте характеристику.
8. К какой форме размножения относится партеногенез? Дайте полное определение.
9. Что вы знаете о процессах спорогенеза и гаметогенеза? Как они проходят у растений и животных?
10. Что собой представляют вегетативные и генеративные клетки? Дайте определение, приведите пример.
11. Приведите пример двойного оплодотворения, объясните этот процесс.
12. Что такое протоонкогены — с-опс? Приведите пример.
13. Какие отличия имеют клетки злокачественной опухоли от обычных соматических клеток? Докажите.
14. Назовите основные причины возникновения злокачественных болезней.
15. Почему все доброкачественные опухоли делят на истинные и неистинные?
16. С какими факторами связаны генные мутации?
17. Какие вирусы в организме человека вызывают раковые заболевания?
18. В чем отличие нормального, или физиологического, старения от преждевременного старения? Приведите пример.
19. Какие теории старения вы знаете? Опишите.
20. Что вы знаете о генах старения?

8

ЗАКОНОМЕРНОСТИ
НАСЛЕДСТВЕННОСТИ И
ИЗМЕНЧИВОСТИ

§ 67. МОДИФИКАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Сегодня на уроке вы:

- изучите модификационную изменчивость;
- научитесь исследовать закономерности модификационной изменчивости.

Знаете ли вы?

- Что такое норма реакции? Как меняются различные признаки и свойства в организме в зависимости от факторов внешней среды?

Ключевые
понятия:

- норма реакции
- модификация
- фенотип
- генотип

Изменчивость — это общее свойство всех организмов приобретать новые признаки-различия между особями в пределах одного вида.

Существуют два вида изменчивости: 1) *модификационная* — это фенотипическая ненаследственная изменчивость; 2) *мутационная* —

это генотипическая наследственная изменчивость. К наследственной изменчивости относятся и комбинативная изменчивость.

Модификационная изменчивость — это внешнее проявление признаков генотипа под влиянием факторов окружающей среды.

Модификационная изменчивость не наследуется, она не связана с изменением генов, хромосом, генотипов, это — приспособление организма, фенотипическое его изменение под воздействием факторов окружающей среды; т. е. генотипы организмов одинаковые, а фенотипы различные, в зависимости от условий внешней среды. К факторам внешней среды относятся: температура, влажность, свет, питательные вещества и т. д. При индивидуальном развитии животных и растений наблюдаются морфологические, физиологические, анатомические, биохимические и другие изменения признаков.

Особенности модификационной изменчивости: признаки не наследуются, изменяются быстро и много раз. Изменчивость признака ограничена определенной *нормой реакции* (табл. 12).

Характеристика модификационной изменчивости

Свойства модификационной изменчивости	Описание
Причины изменчивости	Влияние различных внешних условий окружающей среды
Влияние на фенотип	Происходит изменение фенотипа из-за влияния условий среды
Влияние на генотип	Генотип не изменяется
Наследование полученных изменений	Полученные изменения не наследуются
Значение для организма	Помогает приспосабливаться к условиям внешней среды
Значение для вида	Помогает особям выжить в различных условиях среды

Модификационная изменчивость не изменяет генотип, поэтому модификации не наследуются. Например, французский ботаник Г.Боннье проводил эксперименты со 120 видами растений. Он брал отросток грушевого дерева и делил пополам. Одну половину высаживал в благоприятных, теплых условиях, вторую половину высаживал на холоде, в горах. В результате этого эксперимента получилось так, что груша, высаженная в благоприятных условиях, выросла высокой, а в горной местности она была низкорослой, прижатой к земле. Если взять семена у обеих этих растений и посадить в одинаковых условиях, то можно наблюдать одинаковые фенотипы проростков. Таким образом, было показано, что фенотип растения может изменяться под влиянием внешних факторов среды, но генотип не изменяется.

Модификационная изменчивость изучается статистическим методом, путем построения вариационных рядов, т. е. распределением значений признака от меньшего значения к большему, и схематичное

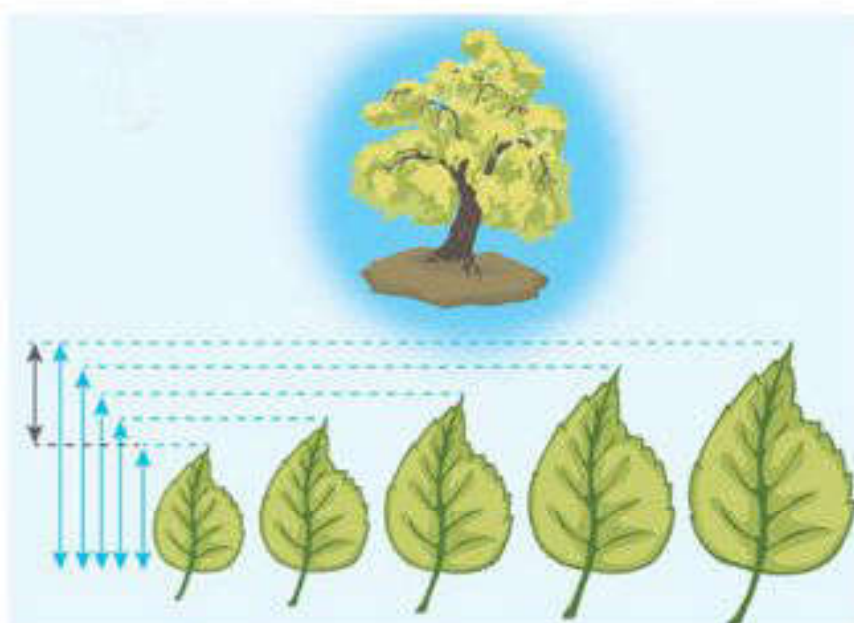


Рис. 131. Норма реакции



Рис. 132. Различные модификации листа у стрелолиста: формы листа — примеры прямого приспособления растения к разным средам (водной и воздушной)

которой в зависимости от условий среды один и тот же генотип способен давать различные фенотипы (рис. 131).

Норма реакции определяется генотипом и передается по наследству. Для изучения нормы реакции необходимо взять генетически однородный материал и выращивать его в разных условиях среды. В качестве примера можно взять растение стрелолист. Надводные листья этого растения приобретают стреловидную форму, подводные — лентовидную, а на поверхности воды листья принимают сердцевидную форму (рис. 132).

Таким образом, генотип растения стрелолиста имеет способность, в зависимости от условий среды, формировать разные формы листьев. Некоторые признаки имеют широкую норму реакции. К ним относятся количественные признаки: высота растения, масса зерна, вес животного, количество молока и т. д. Другие признаки имеют узкую норму реакции. К ним относятся качественные признаки: цвет семян и цветков растений; у человека — цвет глаз, ладонный рисунок и др.

Возьмем известное растение картофель. Размножается он вегетативно. Все растения имеют один и тот же генотип. Одинаковый ли вырастет картофель, выращенный из одного клубня? Многие растения отличаются друг от друга по высоте стебля, количеству клубней и т. д. Это зависит от времени посадки картофеля, питательной среды, типа удобрений и времени полива.

Основным фактором, определяющим развитие признаков у организмов, является генотип. Но проявление признаков зависит от факторов окружающей среды. Степень изменчивости признака у различных

изображение вариационного ряда — индивидуальное распределение признака.

Модификационная изменчивость ограничивается в пределах нормы реакции, т. е. изменение признака находится в пределах определенных значений. Например, если коров содержать в благоприятных условиях — хорошо кормить, держать в тепле, вовремя поить, то увеличатся количество молока и вес животного, однако жирность молока при этом не изменится. В связи с изменением окружающей среды границы модификационной изменчивости будут разнообразными.

Норма реакции — это пределы модификационной изменчивости.

Норму реакции можно представить как диапазон изменчивости, в пределах

организмов под воздействием различных факторов окружающей среды различается. Модификационная изменчивость зависит от способов размножения, отношения к биологическому виду и среде обитания. Модификационная изменчивость, как и наследственная изменчивость, характерна для всех живых организмов на Земле.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *модификационная изменчивость*?
2. Дайте определение *норме реакции*. Приведите примеры.



Назовите главный фактор, определяющий развитие признаков у организмов.



По рисунку охарактеризуйте модификационную изменчивость у растений одуванчика, произрастающих на равнине и в горной местности.



§ 68. ВАРИАЦИОННЫЕ РЯДЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИЗНАКОВ

Сегодня на уроке вы:

- изучите вариационные ряды изменчивости признака;
- научитесь исследовать закономерности модификационной изменчивости.

Знаете ли вы?

- Что такое вариационный ряд? Какие признаки и свойства в организме изменяются под влиянием мутагенов?

Модификации — это изменения признаков организма под воздействием условий внешней среды, не связанных с изменением генотипа. Существует такая категория модификаций, как длительная модификационная изменчивость. Изучением длительных модификаций занимались следующие ученые:

— Н.И. Вавилов, который предполагал, что длительные модификации постепенно приводят к мутационной изменчивости;

— Гофман и Соннеборн показали, что длительные модификации передаются от поколения к поколению по материнской линии и связаны с внехромосомными структурами;

— М.Зияров изучал длительные модификационные изменения у растений пшеницы.

Для изучения модификационной изменчивости используют построение вариационного ряда. Например, если сорвать несколько листьев с одного дерева, то мы заметим, что листья отличаются по размеру, так как на рост и развитие растения оказывают влияние многие внешние факторы — освещение, снабжение питательными веществами и водой, температура и др.

Если распределить листья по длине в возрастающем порядке, мы можем наблюдать изменчивость по данному признаку (рис. 133). Это — вариационный ряд по длине листовой пластины листа лавровишни. Вариационный ряд строится на вариантах, варианты — это числовое значение признака. Модификационная изменчивость измеряется статистическими методами. Так можно определить размах изменчивости признака путем вычисления коэффициента вариации (V). Например, изучим изменчивость по признаку количества колосков в колосе пшеницы. Для опыта возьмем 100 колосьев и посчитаем у каждого число колосков. Изменчивость по данному признаку будет находиться между 14 и 20 значениями. Количество колосков в пределах 16—18 встречается чаще, чем большие и меньшие значения (табл. 13).

Таблица 13

Количество колосков (ряд вариант) (V)	14	15	16	17	18	19	20
Частота вариант (p)	2	7	22	32	24	8	5

В таблице верхние значения показывают распределение вариант от минимума к максимуму, образуя вариационный ряд. В нижнем ряду указывается частота встречаемости вариант для каждого значения. Если сложить данные по частоте вариант, мы получим значение 100, что соответствует количеству взятых колосьев. Вариационный ряд можно изобразить в виде вариационной кривой. Важным статистическим показателем, характеризующим вариационные ряды, служит



Рис. 133. Вариационный ряд изменчивости листьев лавровишни

средняя арифметическая величина. Для ее нахождения используется следующая формула:

$$M = \frac{(\sum(V \cdot p))}{n},$$

где M — средняя величина признака, V — варианта, p — частота встречаемости вариант, n — сумма всех вариант, \sum — знак суммирования.

Используя эту формулу, вычислим среднюю величину для нашего примера по изучению количества колосков в колосе пшеницы:

Средняя арифметическая величина вариационной кривой равна 17,13 шт. в колосе.

Средняя арифметическая величина недостаточно характеризует изменчивость признака. Более точным показателем степени изменчивости признака является среднеквадратичное отклонение (σ — сигма). Этот показатель вычисляется по следующей формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(M - V)^2}{n - 1}}.$$

В данной формуле сумма квадратов отклонений, т. е. разность вариант от средней арифметической величины делится на общее количество вариант минус 1 ($n - 1$).

Согласно математико-статистическим закономерностям, случайная величина не должна отклоняться от средней величины больше чем на ± 3 сигм. Поэтому с использованием среднеквадратического отклонения необходимо вычислить еще один важный показатель m — ошибка средней арифметической величины, которая показывает пределы варьирования средней величины ($M \pm m$). Вычисляется этот показатель по формуле:

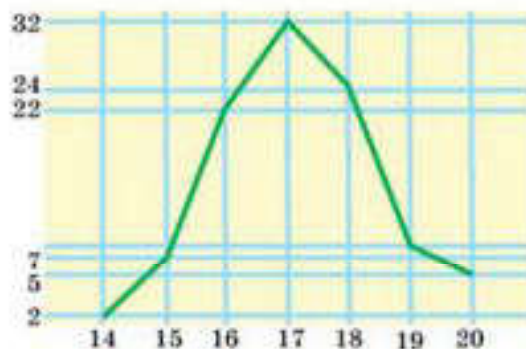
$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

В случае, когда необходимо измерить вариацию разных групп организмов, в отношении разных признаков применяется такой показатель, как коэффициент вариации — C .

Коэффициент вариации представляет собой среднее квадратическое отклонение, выраженное в процентах от средней величины, и вычисляется по формуле:

$$C = \frac{\sigma \times 100\%}{V}.$$

Для изучения модификационной изменчивости необходимо использовать большое количество вариант. Только в этом случае можно получить достоверные результаты. Для закрепления этих знаний представлена лабораторная работа.



Вариационная кривая



Лабораторная работа №8. Изучение модификационной изменчивости, построение вариационного ряда и кривой

Цель: исследование закономерностей модификационной изменчивости, ознакомление с методом построения вариационного ряда и вариационной кривой.

Материалы и оборудование: антропометрические данные учеников (показатели роста у 10—25 мальчиков и девочек); листья дуба, тополя, вишни (или других растений), семена фасоли (20—30 шт.), карандаш, ручка, тетрадь, линейка.

Ход работы:

- I. 1. Измерьте длину семени фасоли (20—30 шт.).
2. Постройте вариационный ряд, где V — значения длины семени, P — частота встречаемости одинаковых вариантов. Заполните в тетради таблицу.

V														
P														

3. Постройте графическое изображение вариационного ряда. Обозначьте на графике среднюю величину.

- II. 1. Измерьте рост учащихся.
2. Занесите данные в таблицу.
3. Определите количество учащихся с одинаковым показателем роста.
4. Заполните таблицу.

Результаты исследования

Рост учащихся (V)	Частота встречаемости (P)

5. Изобразите вариационную кривую для демонстрации изменчивости признака. По горизонтали наносятся естественные классы вариационного ряда, по вертикали — частота встречаемости (или сколько раз каждая варианта встречается в выборке).

6. Определите основные статистические показатели мальчиков и девочек ($V \cdot P$).
7. Напишите выводы.

- III. Измерьте длину 20 листьев, отобранных в случайном порядке. Данные занесите в таблицу.

1. Определите частоту распределения вариантов.
2. Постройте вариационный ряд, заполняя таблицу.

Длина листьев (V)						
Частота (P)						

3. Графически изобразите вариационную кривую, укажите на взаимосвязь между вариантами и частотой их встречаемости.

4. Напишите вывод о закономерностях модификационной изменчивости.

5. Что такое вариационная кривая? Охарактеризуйте вариационную кривую. Напишите вывод по работе.

§ 69. ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ

Сегодня на уроке вы:

- изучите цитологические основы наследования признаков;
- научитесь применять цитологические основы дигибридного скрещивания.

Знаете ли вы?

- Что вы знаете о законах Менделя? Какое скрещивание проводится при определении генотипов растений и животных с похожими фенотипами?

В настоящее время разносторонние исследовательские работы цитологии законов Менделя помогли сформировать четкую цитологическую основу, в частности, объяснение процесса единообразия и расщепления признаков в поколениях F_1 и F_2 по правилам чистоты гамет.

В каждом виде растений и животных существует определенное количество хромосом, присущее только ему. Суть заключается в том, что развитие любого свойства организма определяет наследственный фактор, или ген. А гены располагаются в хромосомах. Цитологическими основами наследственности признаков считаются гены, расположенные в одной или в разных хромосомах. Появление признака зависит от множественных аллелей, расположенных в гомологичной или негомологичной хромосомах, и их взаимодействия.

Цитологические основы моногибридного скрещивания. Если скрещивать два вида растения, отличающихся по цвету цветков, то появление цвета F_1 определяет доминантный признак (рис. 134). Например, при скрещивании растения розы с красными и белыми цветками в гибридном F_1 поколении все получатся с красными цветками. Это считается результатом сложения гамет с доминантными A генами красноцветкового растения и гамет с рецессивными a генами белых цветков в F_1 . Поэтому в их генотипе присутствуют гены, определяющие как красный цвет, так и белый цвет цветка Aa . Так как красный цвет оказался доминантным, в первом поколении все розы оказались с красными цветками на основе доминанты A . Скрещивание только по одному противоположному признаку называется *моногибридным скрещиванием*, а то, что в первом поколении все растения получились с красными цветками, называется *законом единообразия*, или *первым*

Ключевые понятия:

- цитологические основы
- наследственность
- скрещивание
- гомологичные хромосомы
- негомологичные хромосомы
- чистота гамет

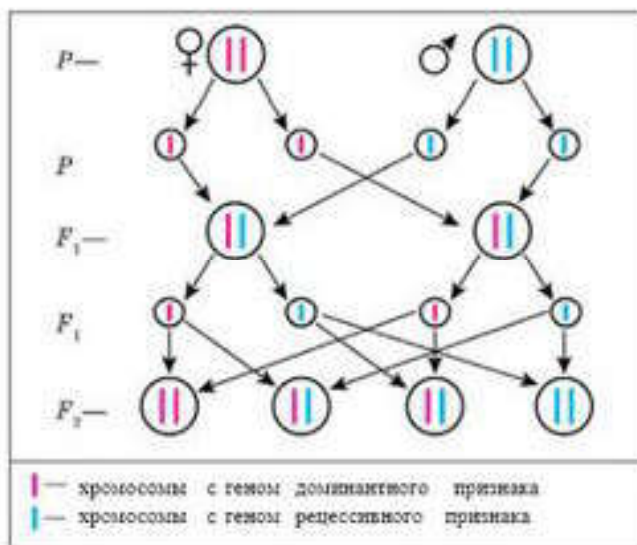


Рис. 134. Скрещивание растений

гибридного организма аллельные (парные) гены не смешиваются, а сохраняются в чистом виде. Это называется *чистой гамет*.

В хромосомах любых соматических клеток организма имеется диплоидный набор. Количество хромосом гороха — 14, т. е. 7 пар. Аллельные гены, определяющие различные признаки, расположены в одинаковых локусах различных парных хромосом. Например, возьмем только одну парную хромосому с аллельными генами, определяющими цвет семян. В каждой ее паре существуют: A — доминантный ген, определяющий желтый цвет семян, и a — рецессивный ген, передающий зеленый цвет. Возникшие при мейотическом делении эти непарные хромосомы снова образуют пары, а следовательно и парные аллельные гены.

Значит, на опыте Менделя, при скрещивании первых гомозиготных особей по доминантному A и рецессивному a признакам в первом поколении получены единообразные гетерозиготные гибриды (Aa) вследствие скрещивания гамет с разными генами. Похожие хромосомы с различными генами от этих гибридов при мейотическом делении расщепляются на два типа гамет: 50% с доминантными генами, 50% с рецессивными генами. В следующем поколении (F_2) происходит расщепление. Поэтому соотношение расщепления по генотипу выглядит так: $1AA : 2Aa : 1aa$ по генотипу, а по фенотипу — 3 : 1 (три части желтых и одна часть зеленых зернобобов). Этот **второй закон Менделя** называется **законом расщепления признаков**.

Промежуточное свойство наследственности, или неполное доминирование. Отмеченное по опыту Менделя на горохе явление доминирования относится к *полному доминированию*. В некоторых случаях признак доминирования от гетерозиготного поколения F_1 проявляется неполно, бывает в промежуточной форме. Такое явление

законом Менделя. Несмотря на то, что у всех растений фенотип одинаковый, в генотипе имеются два разных гена Aa . Это доказывает, что в их генотипе присутствуют гены обоих растений, это считается результатом сложения гамет с доминантными A генами и гамет с рецессивными a генами в первом поколении. А когда из такого гибридного организма образуется гамета, ей передается только один доминантный A ген или рецессивный a ген. В таком случае в гамете

носит название *неполное доминирование*. Например, при скрещивании красных и белых цветков растения ночной красавицы в F_1 цветки гибридов получаются розовыми, т. е. в промежуточном виде. При скрещивании таких гибридов во втором поколении (F_2) отмечается расщепление признаков $1AA : 2Aa : 1aa$ как по генотипу, так и по фенотипу. Наследование цветков ночной красавицы по фенотипу идет в соотношении 1 часть красных : 2 части розовых : 1 часть белых. Такое промежуточное положение признаков гибридов F_2 называется *неполным доминированием*.

Цитологические основы дигибридного скрещивания. Как связать закономерности дигибридного скрещивания с теми процессами, которые совершаются в половых клетках при их созревании и оплодотворении? Эти отношения поясняются следующим образом: диплоидный набор хромосом представлен у каждой особи двумя гомологичными парами $AABb$ и $aabB$. При скрещивании их в F_1 образуется дигетерозигота $AaBb$. В парных хромосомах расположены аллельные гены. В одной паре хромосом — гены A и a , а в другой паре хромосом — гены B и b . В результате оплодотворения дигетерозигот $AaBb$ в каждой паре хромосом будут разные гены одной пары аллелей. При мейозе у гибридов F_2 образуется четыре типа гамет (AB, Ab, aB, ab) у каждой особи.

У гибридов F_2 при скрещивании одинаково вероятное образование 16 типов зигот. В основе дигибридного скрещивания лежит моногибридное $(3 : 1)^2$.



Проверьте свои знания:



1. В чем заключаются цитологические основы скрещивания?
2. Какие важнейшие закономерности наследственности и ее природу открыл Мендель на основании своих исследований?
3. Каково значение правил чистоты гамет?
4. Какие хромосомы относятся к *гомологичным* и *негомологичным*?



Что является наследственным фактором развития любого признака-свойства организма?



Дополните текст подходящими по смыслу терминами.

В развитии любого признака-свойства организма лежит генетический фактор, называемый...расположены в хромосоме. Цитологической основой наследования признаков является тот факт, что... находятся в одной или нескольких хромосомах. Типы наследования зависят от... в хромосоме. Фенотипическое проявление признака зависит от... находящихся в гомологичных или негомологичных хромосомах и...

§ 70. НЕЗАВИСИМОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХРОМОСОМ ПРИ ДИГИБРИДНОМ СКРЕЩИВАНИИ

Сегодня на уроке вы:

- изучите независимое распределение хромосом при дигибридном скрещивании;
- научитесь применять цитологические основы дигибридного скрещивания.

Знаете ли вы?

- Как называют скрещивание двух пар особей с противоположными признаками?

Ключевые понятия:

- дигибридное скрещивание
- независимое расщепление
- решетка Пеннета

Дигибридное скрещивание — это скрещивание организмов, различающихся по двум парам альтернативных признаков. В качестве примера можно взять эксперименты Г. Менделя. Он скрещивал растения гороха, различающегося по двум парам альтернативных признаков:

зернобобы которых были желтые и зеленые, а форма кожуры — гладкая и морщинистая. В первом поколении (F_1) он получил горох с семенами желтого цвета и гладкой формы. Таким образом, по окраске семян доминирующей оказалась желтая, рецессивной — зеленая, а по форме гладкая — доминантная, морщинистая — рецессивная. В этом случае соблюдается закон единообразия F_1 по Г. Менделю.

Если гибриды первого поколения (F_1) $AaBb$ скрестить между собой, то во втором поколении (F_2), в соответствии с законом расщепления Менделя, наблюдается расщепление. Однако характер расщепления в сравнении с моногибридным скрещиванием усложняется. Полученные в исследованиях Менделя 556 семян распределились по фенотипу так: 315 желтых гладких, 101 желтых морщинистых, 108 зеленых гладких и 32 зеленых морщинистых. Таким образом, в потомстве F_2 наблюдается расщепление по фенотипу $9AB : 3Ab : 3aB : 1ab$ или в соотношении $9 : 3 : 3 : 1$.

Используя решетку, предложенную английским генетиком Р. Пеннетом, можно полностью показать фенотипы и генотипы потомства при дигибридном скрещивании. Для построения решетки Пеннета по вертикальной оси следует отметить гаметы женского организма, а по горизонтальной — мужского. В ячейках пересечения вертикалей и горизонталей записываются генотипы дочерних организмов (рис. 135). Поскольку гибриды первого поколения дигетерозиготные, т. е. содержат по две пары аллелей ($AaBb$), то они образуют четыре типа гамет — AB , Ab , aB и ab .

Аллельные гены обозначаются одинаковыми буквами, например, ген, определяющий желтую окраску, обозначим буквой — *A*, зеленую окраску — *a*; гладкие семена — *B*, а морщинистые — *b*. Доминантные — большой буквой латинского алфавита, а рецессивные — малой буквой.

Если взять гомозиготных родителей с генотипами *AABB* и *aabb*, то они образуют гаметы *AB* и *ab*. Образующееся поколение гибридов F_1 является дигетерозиготными *AaBb*. По фенотипу каждая особь проявляет признаки одного из родителей по доминантным признакам либо в гомозиготном — по рецессиву.

При слиянии 4 гамет от двух родительских особей в F_2 образуется 16 комбинаций гамет. Изучение потомства F_2 и подсчет особей по наличию того или иного признака дало следующие результаты — 416 желтых и 140 зеленых семян, 423 гладких и 133 морщинистых.

Таким образом, анализ каждой пары признаков показал расщепление по фенотипу примерно в соотношении 3 : 1.

Изучение 16 комбинаций генотипов также показало, что 12 из них — желтые, 4 — зеленые, а по второму признаку 12 — гладкие и 4 — морщинистые. Эти соотношения 12 : 4 или это же 3 : 1 показывают, что каждая пара признаков при расщеплении в потомстве ведет себя так же, как в моногибридном скрещивании, т. е. независимо от другой пары признаков. Это явление получило название *закона независимого расщепления признаков* и имеет следующее определение: при скрещивании гомозиготных особей, отличающихся по двум (или нескольким)

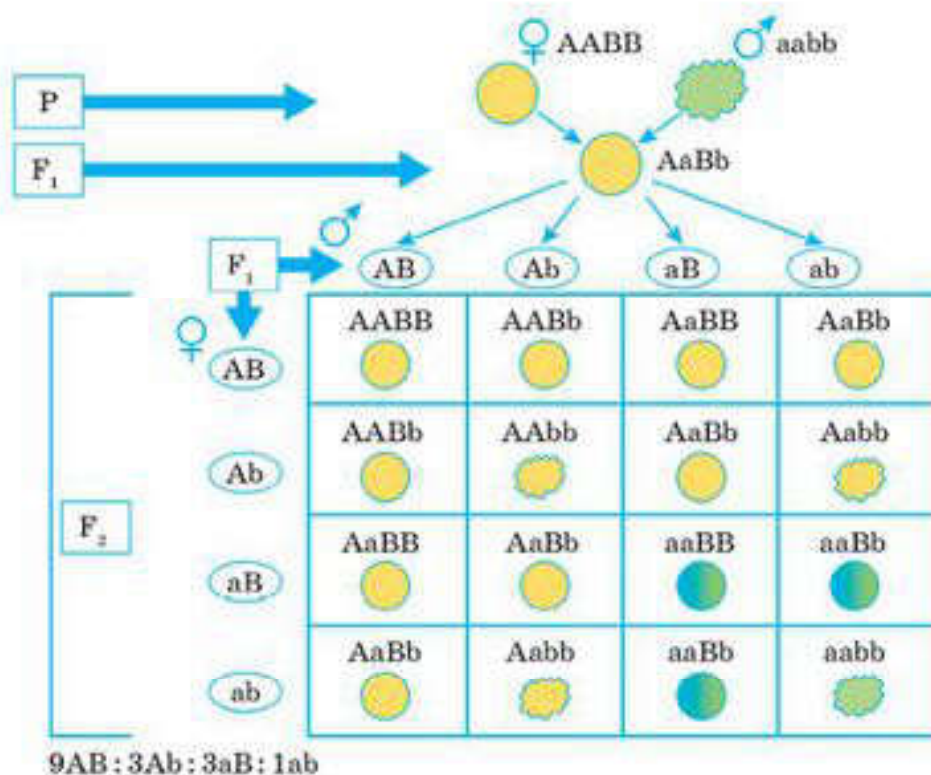


Рис. 135. Схема дигибридного скрещивания

парам альтернативных признаков, во втором поколении наследуются независимые признаки, которые образуют новые комбинации признаков, отличающихся от родительских (рис. 135).

Таким образом, при дигибридном скрещивании в поколении F_2 наблюдается следующее:

1. В поколении F_2 образуются 4 фенотипических класса. В численном соотношении это составляет: 9 желтых гладких, 3 желтых морщинистых, 3 зеленых гладких и 1 зеленое морщинистое.

2. Число генотипических классов составляет 9 в соотношении: $1AABB : 4AaBb : 2AABb : 2AaBB : 2AaBB : 2aaBb : 1Aabb : 1aaBB : 1aabb$.

3. Каждая пара аллелей по отдельности, как и в моногибридном скрещивании, дает соотношение генотипов $1 : 2 : 1$ ($4AA : 8Aa : 4aa$ и $4BB : 8Bb : 4bb$). По фенотипу каждая пара признаков дает расщепление, как и в моногибридном скрещивании ($3 : 1$), в соотношении: 12 желтых : 4 зеленых и 12 гладких : 4 морщинистых.

4. По признакам цвета и формы семян в потомстве F_2 появляются особи с новыми комбинациями признаков, отличающимися от родительских форм. Например, растения с желтыми морщинистыми семенами и растения с зелеными гладкими семенами.



Проверьте свои знания:



1. Что называют *дигибридным скрещиванием*?
2. Что означает термин *скрещивание*?



В чем важность решетки Пеннета?



1. Какие гаметы образуются у растений с указанными генотипами:

а) $AABB$;	б) $AaBB$;	в) $aaBB$;
г) $AABb$;	д) $aabb$;	е) $Aabb$;
ж) $AaBb$.		
2. У гороха желтая окраска семян A доминирует над зеленой, а гладкая форма семян B — над морщинистой b . Определите окраску и форму у данных генотипов:

а) $aaBb$;	б) $Aabb$;	в) $AaBB$;
г) $aaBB$;	д) $AABb$;	е) $AAbb$.
3. Определите фенотип потомств, полученных от следующих скрещиваний:

а) $aaBB \times aaBB$;	б) $Aabb \times Aabb$;	в) $AaBB \times AaBB$;
г) $AABb \times aaBB$;	д) $AAbb \times aabb$;	е) $aaBb \times aaBb$;
ж) $AABb \times AABb$.		

§ 71. НАСЛЕДОВАНИЕ, СЦЕПЛЕННОЕ С ПОЛОМ

Сегодня на уроке вы:

- изучите наследование, сцепленное с полом;
- научитесь применять наследование, сцепленное с полом.

Знаете ли вы?

- Как называют гены, расположенные в половых хромосомах?

Ключевые понятия:

- X-хромосома
- Y-хромосома
- крисс-кросс-наследование
- аутосомные хромосомы

Признаки, наследуемые через половые хромосомы, получили название *сцепленных с полом*. Впервые данную концепцию открыл Т. Морган (1866—1945).

Он проводил эксперименты на мушке дрозофиле для изучения наследования окраски глаз (рис. 136). В первом эксперименте он скрещивал красноглазых самок с белоглазыми самцами, а во втором, наоборот, белоглазых самок с красноглазыми самцами. Красный цвет (W) глаз у дрозофилы доминирует над белым (w) цветом. Полученные от скрещивания красноглазых самок с белоглазыми самцами потомки в первом поколении (F_1) имели красный цвет глаз. При скрещивании гибридов первого поколения (F_1) между собой во втором поколении вместо соотношения 3 : 1 все самки оказались красноглазыми, половина самцов — красноглазыми, половина — белоглазыми.

Во втором опыте при скрещивании белоглазых самок с красноглазыми самцами самки первого поколения имели красный цвет глаз, а самцы оказались белоглазыми, т. е. самки наследуют красный цвет от отца, а самцы наследуют признак от матери. Во втором поколении (F_2) в соответствии с распределением половых хромосом половина самок белоглазые, половина красноглазые, наряду с этим, половина самцов будут красноглазые, половина белоглазые. Поскольку самки дрозофилы наследуют белый цвет глаз от матери, наблюдается перекрестное наследование.

Наследование признаков, контролируемых генами, расположенными в половых хромосомах, отличается от принципов наследования признаков, выявленных Г. Менделем. Половые X и Y-хромосомы имеют негомологичные участки, поэтому аллели генов, сцепленные с X-хромосомой, в Y-хромосоме отсутствуют. Напротив, аллели генов, находящиеся в Y-хромосоме, отсутствуют в X-хромосоме. Такие гены называют *гомозиготными*.

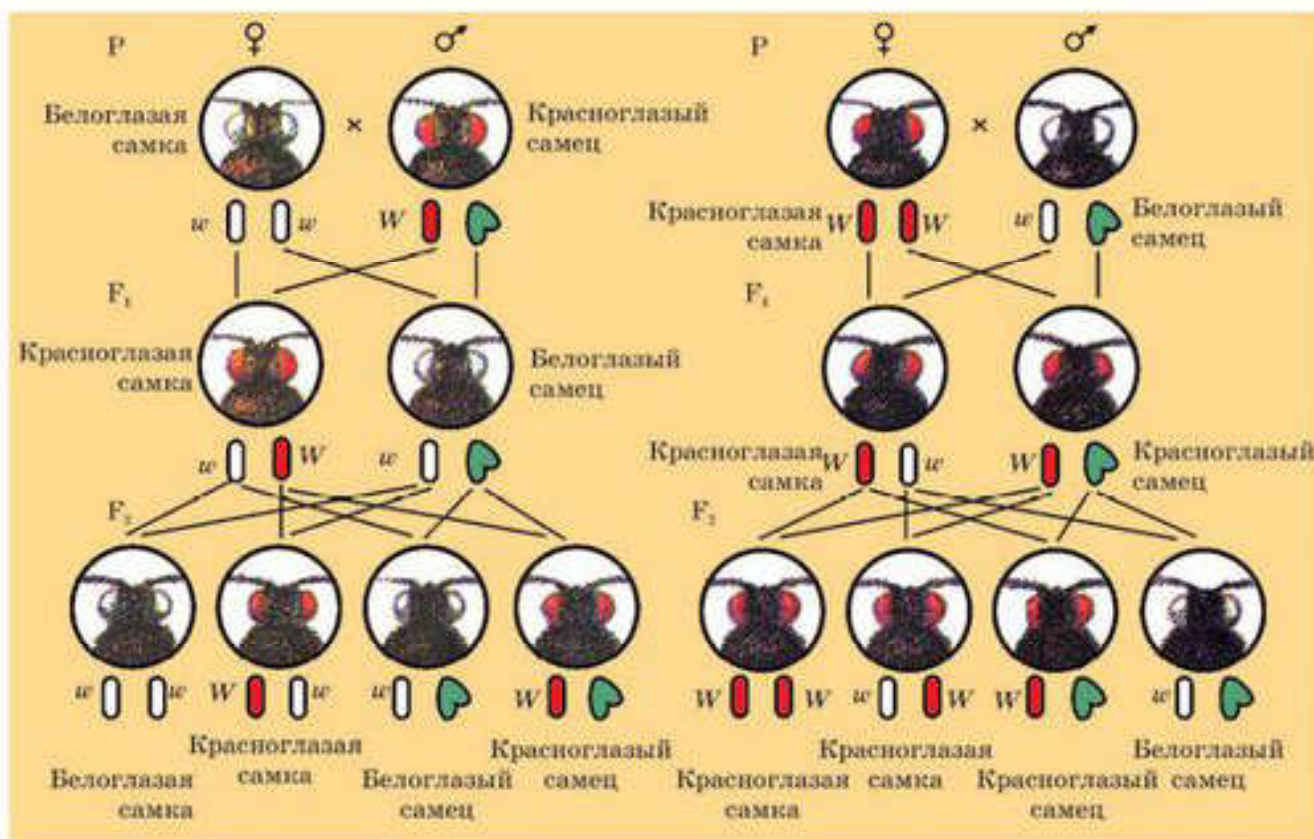


Рис. 136. Схема сцепленного с полом наследования у дрозофилы:

слева — скрещивали белоглазую самку (w) с красноглазым самцом (W).

В F_1 все самки красноглазые, а все самцы белоглазые; в F_2 отмечается соотношение $1w$ (белоглазая самка) : $1W$ (красноглазый самец).

У-хромосома (загнутая) не имеет генов, определяющих окраску:

справа — скрещивание красноглазой самки с белоглазым самцом (w).

При таком скрещивании в F_1 все потомки красноглазые; в F_2 все самки красноглазые, а среди самцов половина красноглазых и половина белоглазых.

Если ген локализован в X-хромосоме, то гены передаются от отца к дочери, а от матери признаки передаются дочерям и сыновьям одинаково с X-хромосомой. Передача признаков от матери сыновьям, а от отца дочерям называется *крисс-кросс-наследованием*.

Если гены, контролируемые признаки, расположены в Y-хромосоме, то признаки передаются от отца только сыну. Примером является наличие у людей перепонки между пальцами ног, гипертрихоз ушной раковины — это признаки, передающиеся только от отца сыновьям. Так как у дочерей нет Y-хромосомы, им они не передаются. Иногда дочери являются носителями, когда имеют гетерозиготный генотип.

В соматической клетке самцов и самок дрозофилы содержится четыре пары хромосом. И у самцов, и у самок три пары хромосом бывают одинаковыми, их называют *аутосомными хромосомами*, а четвертая пара — неодинаковая, у самок она представлена двумя X-хромосомами, а у самцов — одна X-хромосома, другая — Y-хромосома. X и Y хромосомы называют *половыми хромосомами*.

Особенности наследования заболеваний, сцепленных с полом, при Х-сцепленном доминантном наследовании:

- заболевание передается в следующее поколение;
- признак передается от мужчины только дочерям;
- от больной женщины гены передаются как сыновьям, так и дочерям;
- у мужчин по сравнению с женщинами болезнь протекает в более тяжелой форме.

У человека к признакам, сцепленным с полом, относятся гемофилия — несвертываемость крови, дальтонизм — неспособность различать цвета.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *сцепленное наследование* генов?
2. Расскажите о теории, открытой в 1910 г. американским генетиком Т. Морганом.
3. Что такое *хромосомное определение пола*?
4. Каково наследование, сцепленное с полом?
5. Каково генетическое разнообразие человека?
6. Каковы генетические основы здоровья?
7. Перечислите генетические заболевания людей.



Расскажите о влиянии состояния окружающей среды на генетическое здоровье человека.



Определите генотип человека.

1. Человек, гомозиготный по признакам, — черный цвет глаз, светлые волосы...
2. Человек, гетерозиготный по признакам, — черный цвет глаз, светлые волосы...
3. Человек с голубыми глазами и гетерозиготный по признаку — черный цвет волос...
4. Человек с голубыми глазами и светлыми волосами...
5. Генотип и фенотип человека, гетерозиготного по двум признакам...



Установите соответствие.

Понятия	Определение, описание
1. Аллельные гены	а) Пара разных аллельных генов
2. Гомозиготное состояние генов	б) Пара одинаковых аллельных генов
3. Гетерозиготное состояние генов	в) Парные гены в гомологичных хромосомах
4. Гипотеза чистоты гамет	г) Передача наследственных признаков от родителей к поколению
5. Наследственность	д) Приобретение организмом новых признаков и качеств
6. Изменчивость	е) Несмешивание признаков в гаметах гибридного организма



Как вы считаете, что более важно для формирования личности человека — наследованные признаки или влияние окружающей среды?

§72. МНОЖЕСТВЕННЫЙ АЛЛЕЛИЗМ. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Сегодня на уроке вы:

- изучите множественный аллелизм;
- научитесь применять множественный аллелизм при решении задач.

Знаете ли вы?

- Что такое кодоминирование?

Ключевые понятия:

- множественный аллелизм
- кодоминирование

Мы познакомились с наследованием признаков при взаимодействии двух или более неаллельных генов.

Существование в популяции более двух аллелей одного гена относится к множественному аллелизму.

В этом случае, кроме доминантной и рецессивной форм аллелей, имеются их промежуточные формы, при этом аллели находятся в сложных доминантно-рецессивных отношениях между собой. Так, один и тот же аллель может быть доминантным по отношению к одному аллелю и рецессивным по отношению к другому, а между иными аллелями доминирование может отсутствовать.

Имеются определенные особенности множественного аллелизма. Так, разные сочетания аллелей в генотипе обуславливают различные фенотипические проявления одного и того же признака, каждый ген может иметь большое число аллелей. В случае, когда в гене, находящемся в определенном месте в хромосоме, несколько раз происходит мутация, возникает серия аллелей этого гена, такое явление называют *множественным аллелизмом*. В качестве примера можно взять наследование групп крови у человека.

В эритроцитах крови человека имеются антигены, представленные А- и В-агглютиногенами, а в плазме могут содержаться белки агглютинины — α - и β -типов. В зависимости от комбинации этих веществ определяются 4 группы крови человека (О, А, В и АВ). Группа крови наследуется тремя аллелями одного гена. У людей с I группой крови эритроциты не содержат агглютиногенов, но в их плазме содержится агглютинин α и β . В эритроцитах людей со II группой крови содержатся А-агглютиногены, а в плазме присутствует агглютинин β . У людей с III группой крови эритроциты содержат агглютиногены В, а в плазме — агглютинин α . У людей с IV группой крови эритроциты содержат агглютиногены А и В, но их плазма не содержит агглютининов (табл. 14).

Группа крови	Агглютиногены	Агглютинины
I (0)	–	α и β
II (A)	A	β
III (B)	B	α
IV (AB)	AB	–

Различные комбинации трех аллелей (I^A , I^B и i) гена, отвечающего за наследование групп крови, подразделяют: I группа (0), II группа (A), III группа (B) и IV группа (AB) или обозначают I^A , I^B , $I^A I^B$ и i . Аллели I^A и I^B доминируют над аллелью i , а при взаимодействии между собой являются кодоминантными, т. е. вносят равнозначный вклад в развитие данного признака. Эта система определения групп крови называется *ABO*.

У людей с I и IV группами крови генотип представлен в одной комбинации, а у людей со II и III группами генотип может быть гомозиготным и гетерозиготным. IV группа крови появилась от сочетания двух доминантных аллелей гена. Это явление называется *кодоминированием*. Определение групп крови по генотипам имеет важное значение в медицине. Еще до установления групп крови, в случаях переливания крови происходили тяжелые случаи несовместимости групп крови, вплоть до летального исхода. Причиной этому служила несовместимость некоторых сочетаний групп крови, что приводило к агглютинизации (склеиванию) эритроцитов.

Знание закономерностей групп крови у человека позволило не только решить проблемы с переливанием, это также важно в случаях установления отцовства и др. Чтобы определить группу крови у ребенка, необходима капля крови. Также можно установить всевозможные варианты групп крови, которые могут унаследовать дети в одной семье.

Например, если у матери со второй группой крови A рождается ребенок с первой 0 группой крови (генотип — ii), то отец ребенка должен быть или с первой 0 группой крови, или гетерозиготным по второй A, или третьей B группам крови. Тогда генотип матери однозначно гетерозиготный — $I^A i$.

В случае множественного аллелизма число разных генотипов зависит от количества аллелей. Если имеется только один аллель, то генотип тоже один, например AA. Если два аллеля A_1 и A_2 , то можно получить три разных генотипа: $A_1 A_1$ и $A_2 A_2$ — гомозиготные и $A_1 A_2$ — гетерозиготные.

В случае, когда присутствуют три аллеля A_1 , A_2 и A_3 , могут образовываться шесть различных генотипов, три из которых являются гомозиготными A_1A_1 , A_2A_2 , A_3A_3 , а остальные три — гетерозиготы — A_1A_2 , A_1A_3 и A_2A_3 . В общем случае при n аллелях возможно $n(n+1)/2$ генотипов, из которых n — гомозиготы, а остальные $n(n-1)/2$ — гетерозиготы.

Множественный аллелизм, особенности при расщеплении в поколениях F_2 , F_3 . Как правило, некоторые гены имеют несколько или более аллелей. В случае множественного аллелизма в гамету попадает одна из аллелей гена и наследование идет по принципу моногибридного скрещивания.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *множественный аллелизм*?
2. Приведите примеры множественного аллелизма.



Решите задачи:

1. У матери II группа крови, у отца III группа крови. Определите группы крови детей.
2. У обоих родителей I группа крови, какая группа крови будет у детей?
3. Определите фенотип поколения при следующих скрещиваниях гороха:

а) $aaBB \times aaBB$;	б) $Aabb \times Aabb$;
в) $AaBB \times AaBb$;	г) $AABb \times aaBB$;
д) $AAbb \times aabb$;	ж) $AABb \times AABb$.
е) $aaBb \times aaBb$;	
4. Желтый цвет семян гороха доминирует над зеленым цветом, гладкая форма семян доминирует над морщинистой. Определите цвет и форму по следующим генотипам:

а) $aaBb$;	б) $Aabb$;
в) $AaBB$;	г) $aaBB$;
д) $AABb$;	е) $AAbb$.

зеленый гладкий; желтый морщинистый; желтый гладкий; зеленый гладкий, желтый гладкий; желтый морщинистый.

§ 73. ХРОМОСОМНАЯ ТЕОРИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

Сегодня на уроке вы:

- изучите хромосомную теорию наследственности;
- научитесь объяснять нарушение закономерностей наследования признаков в результате кроссинговера.

Знаете ли вы?

- Кто доказал хромосомную теорию на практике?

**Ключевые
понятия:**

- наследственность
- хромосомная теория наследственности
- сцепленное наследование

Наследственность — это свойство всех живых организмов сохранять и передавать наследственные признаки от поколения к поколению. В основе наследования лежат процессы передачи генетической информации в процессе удвоения ДНК.

Наследственность обеспечивает материнскую и функциональную преемственность между поколениями. Морфологическая, физиологическая и биохимическая структура живых организмов и их индивидуальное развитие передаются из поколения в поколение. Г. Мендель, который первым выявил законы наследования, предложил существование наследственных признаков в организмах. Он изучал особей, различающихся по одной или нескольким парам признаков, и пришел к выводу, что эти признаки передаются от родителей к их потомству через половые клетки (законы Менделя). В 1909 г. датский биолог В. Иогансен (1857—1927) назвал эти наследственные факторы генами. В 1911 г. американский биолог Т. Морган и его коллеги сформулировали “хромосомную теорию наследственности”, согласно которой, гены присущи всем живым организмам. Гены локализируются на одной линии в хромосомах ядра клетки, и каждый ген имеет в хромосоме определенное постоянное место (локус). Каждая хромосома отличается группой генов. В процессе развития генетической науки было установлено, что наследственные признаки обнаруживаются не только в ядре, но и в некоторых органоидах клеточной цитоплазмы (митохондрии, хлоропласты). В связи с этим была открыта *цитоплазматическая наследственность*.

Законы Т. Моргана. Т. Морган заметил, что передача некоторых генов из поколения в поколение связана с половыми хромосомами, т. е. гены сцеплены с полом. Однако количество генов, общих для любого организма, намного выше, чем количество хромосом. В этом случае возникает вопрос о том, как гены передаются от поколения к поколению или как происходит наследование. Ответ на этот вопрос был найден в 1910—1915 гг. Т. Морганом вместе с его учениками в результате опытов с плодовыми мухами-дрозофилами. Плодовая мушка — очень хороший объект для генетических исследований, потому что диплоидный набор хромосом у мушки составляет 8, а общее количество гаплоидов — 4. Морган обнаружил, что гены в хромосоме не отделены друг от друга, а располагаются на хромосоме линейно и в большинстве случаев наследуются сцепленно. В своем опыте он скрестил мушек с нормальными крыльями и серым телом BBVV с мушками с зачаточными крыльями и черным телом bbvv.

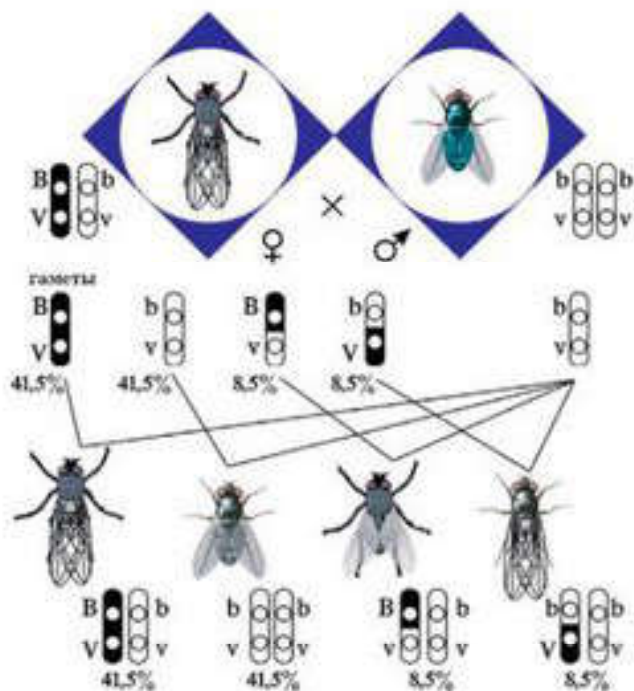


Рис. 137. Явление наследования и сцепления генов у мушки-дрозофилы

В первом поколении F_1 гибриды по закону единообразия были все с серым телом и нормальными крыльями. Во втором поколении F_2 было получено 4 фенотипических класса. Из них 41,5% — черное тело с зачаточными крыльями, 41,5% — серое тело с нормальными крыльями, 8,5% — серое тело с зачаточными крыльями и 8,5% — черное тело с нормальными крыльями (рис. 137).

Следовательно, 17% гибридов второго поколения отличались от родительских форм. Такие результаты могли быть получены только в том случае, если гены, отвечающие за окраску тела и форму

крыльев, находятся в одной хромосоме. Особи с признаками — серое тело, нормальные крылья, и черное тело, зачаточные крылья — были похожи на изначально взятые родительские формы и составили 83%. Это явление Т. Морган назвал *сцеплением генов*, или *сцепленное наследование признаков*. Закон Т. Моргана — явление сцепления генов, локализованных в одной хромосоме. На основе хромосомной теории наследственности было установлено, что гены, находящиеся в одной хромосоме, составляют группу сцепления, число групп сцепления равно гаплоидному числу хромосом в клетке (например, если у человека число хромосом равно 46, т. е. 23 пары, то групп сцепления — 23). Морган и его сотрудники изучили явление полного сцепления генов и обнаружили, что гены располагаются в хромосоме в линейном порядке. Так как группы сцепления генов равны числу гаплоидного набора хромосом, то, например, у дрозофилы таких групп сцепления — 4, у бобов — 7, у кукурузы — 10.

Как было показано в экспериментах Г. Менделя, для независимого наследования признаков неаллельные гены должны быть расположены в разных парах гомологичных хромосом или на большом расстоянии друг от друга в одной паре гомологичных хромосом. Только тогда во время мейоза может происходить их независимое расхождение. В клетке эукариот число генов больше, чем хромосом. Таким образом, Т. Морган и его ученики обнаружили у плодовой мушки-дрозофилы сотни генов. В настоящее время известно, что в четырех парах хромосом содержится около

7000 генов. Предполагается, что в 46 хромосомах человека имеется около 50 000 генов.

Основные положения хромосомной теории наследственности:

- гены расположены в хромосоме в определенной линейной последовательности;
- каждый ген имеет в хромосоме определенное место;
- гены, находящиеся в одной хромосоме, образуют группу сцепления; число групп сцепления соответствует гаплоидному набору хромосом у данного организма;
- между гомологичными хромосомами возможен обмен одним или несколькими мн аллельными генами.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *наследственность*?
2. Кто из ученых и какой вклад внес в развитие хромосомной теории наследственности?



Расскажите об основных принципах хромосомной теории наследственности.



Решите задачи:

1. В семье здоровых родителей были две девочки и два мальчика. Мальчики заболели гемофилией и умерли. Девочки были здоровые. Какова вероятность рождения их детей больными?
2. Отец и сын болеют дальтонизмом, а мать здорова. Определите генотип сына и родителей. Возможна ли передача болезни от отца к сыну в этой семье?
3. Если женщина, имеющая гетерозиготный ген дальтонизма, выйдет замуж за нормального мужчину, какое потомство следует ожидать в этой семье? Признак передается, как сцепленный с половой хромосомой.

§ 74. НАРУШЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ НАСЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ КРОССИНГОВЕРА

Сегодня на уроке вы:

- изучите нарушения закономерностей наследования признаков в результате кроссинговера;
- научитесь объяснять нарушение закономерностей наследования признаков в результате кроссинговера.

Знаете ли вы?

- Как называют процесс образования хромосом в форме X?
- Как определяется процент (%) кроссинговера?

Ключевые понятия:

- кроссинговер
- кроссоверные гаметы
- некроссоверные гаметы
- морганида

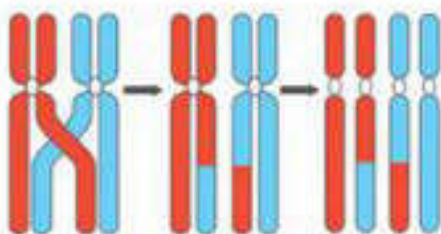


Рис. 138. Процесс конъюгации и кроссинговера

хромосомы сближаются по всей длине. В это время фрагменты двух гомологичных хромосом претерпевают перекрест и соединяются с другими частями этих хромосом (рис. 138). Закономерности хромосомных обменов участками, или явление кроссинговера, было доказано многими учеными, например, путем проведения эксперимента на мушках-дрозофилах К. Штерном в 1933 г. и опытах с растениями кукурузы — Х. Криттоном и Б. Мак-Клинтоком. Чем дальше друг от друга расположены гены в хромосомах, тем чаще происходит кроссинговер. Зависимость расстояния между сцепленными генами и частотой кроссинговера позволила создать генетические карты хромосом. Хромосомная теория наследственности позволила объяснить закономерности наследования признаков у животных и растений и, наряду с этим, явилась основой для всестороннего изучения наследственных заболеваний у людей. Два гена, находящиеся в одной хромосоме, в результате перекреста обмениваются генами между хромосомами одной пары. Обмен генами приводит к формированию новых комбинаций генов. Т. Морган показал, что между парами гомологичных хромосом постоянно происходит обмен генами.

Например, при скрещивании самки дрозофилы с признаками серое тело, нормальные крылья — с самцом, имеющим черное тело и зачаточные крылья, во втором поколении наблюдается расщепление, показанное в таблице 15.

Таблица 15

Серое тело	Серое тело	Черное тело	Черное тело
Нормальные крылья	Зачаточные крылья	Нормальные крылья	Зачаточные крылья
41,5%	8,5%	8,5%	41,5%

Это результат перекреста гомологичных хромосом и обмена их участками при мейотическом делении клеток. Обмен между неаллельными генами, расположенными в одной хромосоме, показывает расстояние между этими генами. Было установлено: чем ближе гены расположены друг к другу, тем реже происходит кроссинговер. В результате перекреста хромосом происходит постоянный обмен генами. Т. Морган со своими учениками доказал это и создал генетические карты хромосом. Он показал последовательность генов на картах.

Гаметы, образовавшиеся в результате кроссинговера, называют *кроссоверными*, а гаметы, в процессе образования которых кроссинговер не происходит, — *некроссоверными*. Величина кроссинговера измеряется отношением числа кроссоверных особей к общему числу особей в потомстве анализируемого скрещивания и выражается в процентах. За единицу расстояния принят один процент кроссинговера. Эта единица измерения получила название *морганида*, или *сантиморган*, в честь Томаса Моргана. Величина кроссинговера = числу кроссоверных особей · 100/общее число особей в потомстве.

Например, при скрещивании двух сортов кукурузы было получено всего 1000 зерен, из которых 200 были кроссоверными. Тогда величина перекреста, или кроссинговера, составит $= 200 \cdot 100/1000 = 20\%$, или 20 сМ.



Проверьте свои знания:



1. Объясните явление и механизм кроссинговера.
2. Каковы цитологические доказательства кроссинговера?
3. Назовите факторы, влияющие на кроссинговер.



Расскажите о кроссинговере в процессе мейоза.



Решите задачи.

1. Гены А, В и С относятся к одной группе сцепления. Величина кроссинговера между генами А и В составляет 7,4%. Определите расположение генов В и С на хромосоме.
2. При скрещивании гетерозиготной самки дрозофилы с генами А и В с самцом по рецессивным генам количество рекомбинантов составило 8,2%. Рекомбинанты — это организмы, образовавшиеся при слиянии кроссоверных гамет. Скрещивание гетерозиготной самки дрозофилы с генами М и N с самцом по рецессивным генам получили 10,4% рекомбинантов. Определите, насколько больше расстояние между генами М и N.

§ 75. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АЛЛЕЛЬНЫХ И НЕАЛЛЕЛЬНЫХ ГЕНОВ

Сегодня на уроке вы:

- изучите взаимодействие аллельных и неаллельных генов;
- научитесь сравнивать взаимодействие аллельных и неаллельных генов.

Знаете ли вы?

- Что такое генное влияние? В каком случае проявляется множественное действие гена? Что такое плейотропия?

Ключевые понятия:

- *генотип*
- *фенотип*
- *множественное действие гена (плейотропия)*
- *аллельные взаимодействия*
- *взаимодействие неаллельных генов*

Есть два типа взаимодействия генов: 1) взаимодействие аллельных генов; 2) взаимодействие неаллельных генов. Ген является функциональной и структурной единицей наследственности. Поэтому генотип — это совокупность всех генов, а фенотип — совокупность свойств и признаков организма. Менделевские законы после 1900 г. были переоткрыты многочисленными экспери-

ментами по изучению наследования разных признаков растений и животных. Например, у растений гороха один аллель гена определяет признак — гладкие семена, а второй аллель — морщинистые. Кроме того, были собраны некоторые данные, показывающие взаимосвязь между генами и определяющими их признаками. Во-первых, один ген может воздействовать на развитие многих признаков организма, во-вторых, несколько разных генов могут действовать однозначным образом на развитие одного и того же признака, т. е. *взаимодействие генов*. Таким образом, многие признаки организма и его фенотипические особенности объясняются взаимодействием генов в онтогенезе (индивидуальном развитии организма).

Гены, расположенные в одинаковых или в различных локусах хромосом, могут взаимодействовать друг с другом по типам аллельных или неаллельных взаимодействий. Иногда один ген влияет на развитие двух или более признаков. Такое явление называется *множественное действие гена (плейотропия)*. Множественное действие гена встречается у многих организмов.

К *аллельным взаимодействиям* можно отнести неполное доминирование. Например, при скрещивании растений ночной красавицы с красными и белыми цветками в F_1 получили поколение с розовыми цветками, т. е. с промежуточной формой окраски (рис. 139). Это сле-

дует рассматривать как результат взаимодействия между аллельными генами A и a . В этом случае доминирующий ген не полностью подавляет рецессивный ген.

Взаимодействие неаллельных генов. Некоторые гены влияют на проявление определенного неаллельного гена или на способность проявления самого гена. Взаимодействие двух пар генов можно представить на примере наследования формы гребня у некоторых пород кур. В результате различных комбинаций этих генов появляются четыре типа гребня у кур.

Неаллельные гены также могут взаимодействовать между собой. Такие формы взаимодействия неаллельных генов, как взаимодополняемость их действия или подавление одним геном неаллельного ему гена, касаются качественных признаков. Многие признаки организмов — вес и рост животных, количество и жирность молока, яйценоскость кур, содержание витаминов в растениях и др. являются количественными. Они определяются неаллельными генами, которые влияют только на один признак или свойство. Чем больше в генотипе доминантных генов, обуславливающих какой-либо признак, тем ярче этот признак выражается. Так, например, количество пигмента в коже человека зависит от количества доминантных неаллельных генов. По такому типу взаимодействия наследуются многие хозяйственно важные признаки:

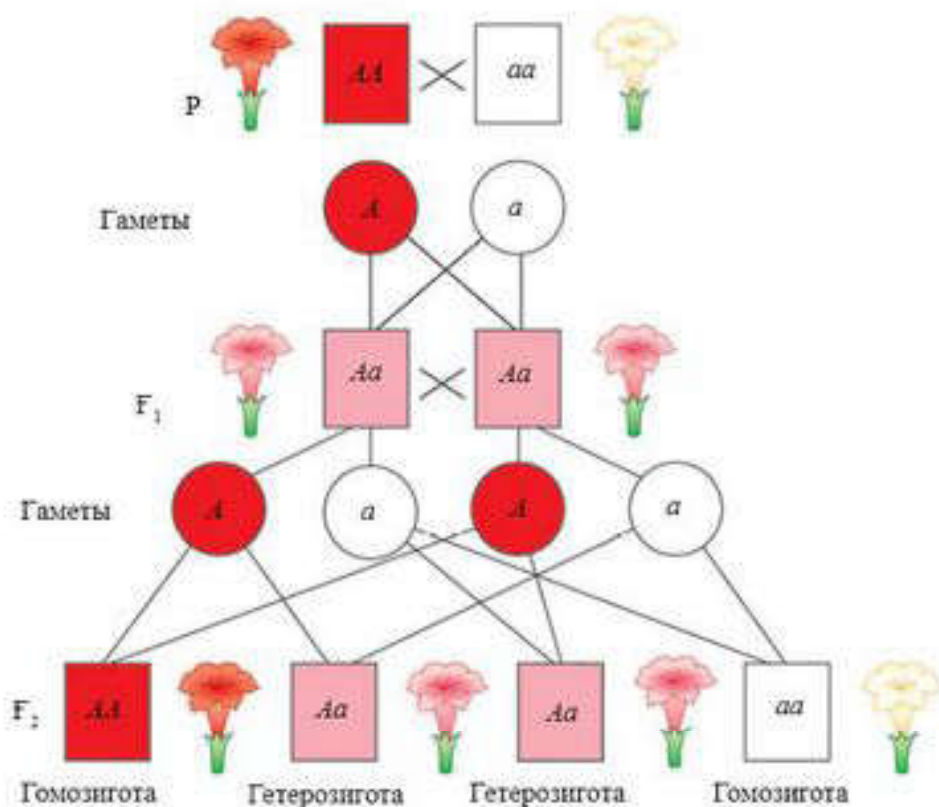


Рис. 139. Схема наследственности цвета цветка ночной красавицы в период неполной доминантности

количество сахара в корнеплодах, длина стебля кукурузы, длина колоса пшеницы, плодовитость животного и т. д.

Таким образом, многие признаки развиваются при взаимодействии нескольких пар полимерных генов, действующих в одном направлении.

Встречаются также случаи, когда один ген определяет развитие нескольких признаков и свойств организма. Такое явление носит название *плейотропия* (от греческого *pleion* — “множество”, *tropos* — “направление”). Например, у человека есть ген, определяющий одновременно развитие дефекта ногтей и коленных суставов.

У мышей встречаются мутантные гены, действие которых приводит к недоразвитию всех костей. В основе плейотропного действия генов лежит его раннее проявление в онтогенезе.

Таким образом, утверждение “ген определяет развитие признака” в значительной степени условно, так как действие гена зависит от других генов, т. е. от генотипической среды.

Существуют три типа взаимодействия неаллельных генов: *комплементарность*, *эпистаз*, *полимерия*.

К *комплементарным*, или *дополнительным* генам относят такие гены, которые при совместном действии в генотипе гомо- или гетерозиготном состояниях обуславливают развитие нового признака. Комплементарные гены дополняют друг друга и обеспечивают развитие нового признака.

В случае комплементарного взаимодействия генов новый признак развивается только при взаимном действии двух доминантных неаллельных генов, каждый из которых в отдельности не вызывает развития признака.

Эпистаз — взаимодействие неаллельных генов, при котором один из них подавляется другим. Эпистаз подразделяется на *доминантный* и *рецессивный*. Под доминантным эпистазом понимают подавление доминантным аллелем другого неаллельного ему гена, а рецессивный — это подавление рецессивными генами других неаллельных им генов.

Полимерия — это однозначное влияние нескольких генов на один и тот же признак. *Полимерные гены* — это неаллельные, множественные гены, однозначно влияющие на развитие одного и того же признака.



Проверьте свои знания:



1. Как называются гены, которые при совместном действии в генотипе в гомо- или гетерозиготном состояниях (А-В-) обуславливают развитие нового признака?
2. Объясните явление, когда один неаллельный ген влияет на проявление другого неаллельного ему гена.



Объясните, почему неполное доминирование генов относится к аллельному взаимодействию генов.



Решите задачи.

1. При скрещивании клевера с фиолетовой окраской цветка с растением с желтой окраской в первом поколении получили все растения с зеленой окраской цветка. От скрещивания растений с зелеными цветками между собой во втором поколении произошло расщепление: 169 зеленых, 64 фиолетовых, 67 желтых и 17 белых цветков растений. Как наследуется признак окраски цветка?
2. При скрещивании тыквы с белыми плодами между собой в первом поколении получили 67 растений с белыми плодами, 19 с желтыми и 6 с зелеными плодами. Определите генотипы родителей и потомков первого поколения.
3. Если девушка-афроамериканка с генотипом $A_1A_2A_3$ выйдет замуж за парня-европейца с генотипом $a_1a_2a_3$, какова вероятность того, что дети от этого брака будут темными, мулатами и белыми?

§ 76. ЭПИСТАЗ. КОМПЛЕМЕНТАРНОСТЬ. ПОЛИМЕРИЯ

Сегодня на уроке вы:

- изучите эпистаз, комплементарность, полимерию;
- научитесь сравнивать взаимодействие аллельных и неаллельных генов.

Знаете ли вы?

- Как называют такое явление, когда несколько неаллельных доминантных генов дополняют друг друга с появлением нового признака?

Комплементарность — взаимодействие двух или более неаллельных доминантных генов, которые дополняют друг друга ($AaBb$ и $AABB$) и образуют новый признак. Если гены находятся по отдельности в каждом из генотипов ($AAbb$ и $aaBB$), то новый признак не проявляется. При комплементарности во втором поколении могут наблюдаться следующие соотношения по фенотипу: $9 : 7$; $9 : 3 : 4$; $9 : 3 : 3 : 1$, или $9 : 6 : 1$.

Например, если синего попугая скрестить с желтым попугаем, гибриды первого поколения (F_1) будут равномерно зелеными. Во втором поколении F_2 от скрещивания гибридов первого поколения получится четыре разных фенотипа. В частности, будут получены 9 зеленых, 3 синих, 3 желтых и 1 белый попугай. В этом случае в наследовании данного признака участвуют два неаллельных гена. Ген A отвечает за синий цвет перьев, ген B определяет желтый цвет, а рецессивные аллели a и b определяют цвет белого оперения.

В данном случае каждый доминантный ген отвечает за определенный собственный признак. Поэтому генотипы $AAbb$, $Aabb$ проявляют синий цвет пера, генотипы $aaBB$ и $aaBb$ — желтый. А в случае попадания

Ключевые понятия:

- комплементарность
- эпистаз
- полимерия
- супрессор
- полимерные гены

двух генов в один генотип $AABB$ и $AaBb$ появляется новый признак — зеленое оперение. Генотипы, состоящие из рецессивных аллелей этих генов, проявляют белый цвет перьев.

Расщепление признаков в соотношении 9 : 7. Это явление впервые было открыто У. Бэтсоном и Р. Пеннетом в 1906 г. при изучении наследования окраски цветка у душистого горошка. При скрещивании двух белых гомозиготных цветков гороха гибриды первого поколения оказались красного цвета. При скрещивании гибридов первого поколения во втором поколении F_2 произошло расщепление: 9/16 были красного цвета и 7/16 были белого цвета. Расщепление признаков было в соотношении 9 : 7, или 9 : 3 : 3 : 1. Наличие двух неаллельных доминантных генов дает красную окраску цветка (рис. 140).

Еще один пример комлементарного взаимодействия генов можно увидеть в следующем: у кур при скрещивании особей с розовидным и гороховидным гребнем в первом поколении — F_1 все гибриды были с ореховидным гребнем, что отличалось от родительских форм. От скрещивания гибридов первого поколения между собой в F_2 происходит расщепление. В частности, были получены куры с разной формой гребня: 9 ореховидных, 3 розовидных, 3 гороховидных и 1 листовидный, т. е. в соотношении 9 : 3 : 3 : 1. В этом случае появление розовидной и гороховидной форм гребня говорит о наличии двух доминирующих генов (R,P), которые по отдельности определяют эти признаки. В результате комлементарного взаимодействия генов R_1P_1 в первом поколении (F_1) наблюдается новая форма гребня — ореховидная.

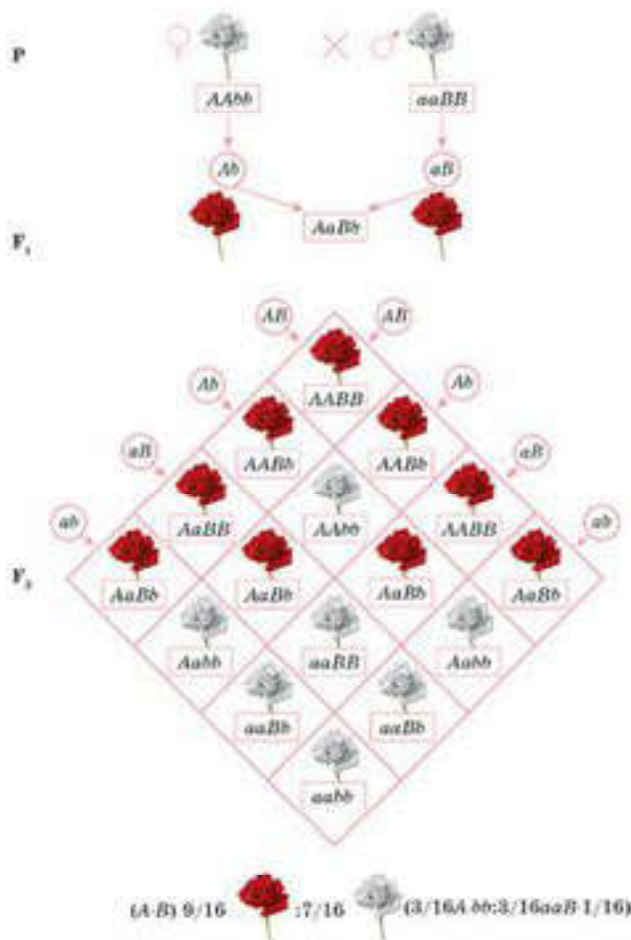


Рис. 140. Влияние комлементарного гена

Эпистаз. Это — явление, обратное комлементарному взаимодействию, т. е. один ген подавляет действие другого неаллельного ему гена и признак не проявляется. Ген, который подавляет, называется *супрессором*. Например, у кур доминантный ген C определяет цвет перьев, а другой, неаллельный ему доминантный ген J , является супрессором. Поэтому при наличии гена супрессора J ген

С не может проявить свой признак и куры приобретают белый цвет оперения (рис. 141).

Следовательно, генотипы JJCC являются белыми, а генотипы с комбинацией аллелей jjCC и JjCc будут иметь цветную окраску, так как в генотипе нет генов-супрессоров.

Полимерия. Неаллельные гены, которые оказывают совместное однозначное действие на образование какого-либо признака, называются полимерными генами. Полимерией называют тип взаимодействия неаллельных генов, при котором степень развития признака определяется влиянием двух, трех или более генов, действующих однозначно (рис. 142). В этом случае ферменты, которые находятся под контролем двух или более неаллельных генов, влияют на развитие только одного признака. В связи с этим полимерные гены обозначаются буквами латинского алфавита с указанием индексов: A_1A_1 и a_1a_1 ; A_2A_2 и a_2a_2 . Примером может служить наследование оперенности лапок у кур. При скрещивании курицы без оперения на лапках с петухом, имеющим оперенность лапок, в первом поколении у всех цыплят были оперенные лапки.

От скрещивания гибридов первого поколения во втором поколении происходит расщепление по фенотипу в отношении 15/16 с оперенными лапками и 1/16 с неоперенными, т. е. наблюдаются два фенотипических класса. Рассмотрим еще один пример полимерии. При скрещивании растений пшеницы с красными и белыми зернами в первом поколении были получены растения со светло-красными зернами. При скрещивании гибридов первого поколения между собой во втором поколении по цвету зерна появилось 5 типов растений: с красными, светло-красными, розовыми, светло-розовыми и белыми зернами. Если обратить внимание на генотипы, можно заметить, что появление разных фенотипов объясняется наличием в зерне количества доминантных

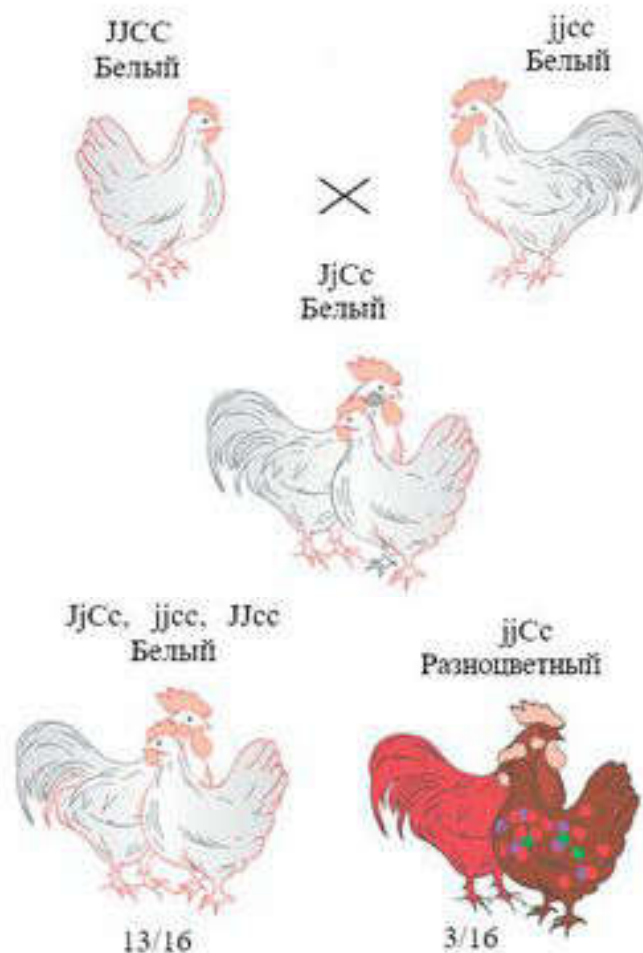


Рис. 141. Эпистаз. Наследование цвета перьев кур в результате взаимодействия двух парных генов.

J — ген-супрессор; j — рецессивный ген;
C — пигментный ген; c — нет пигментности

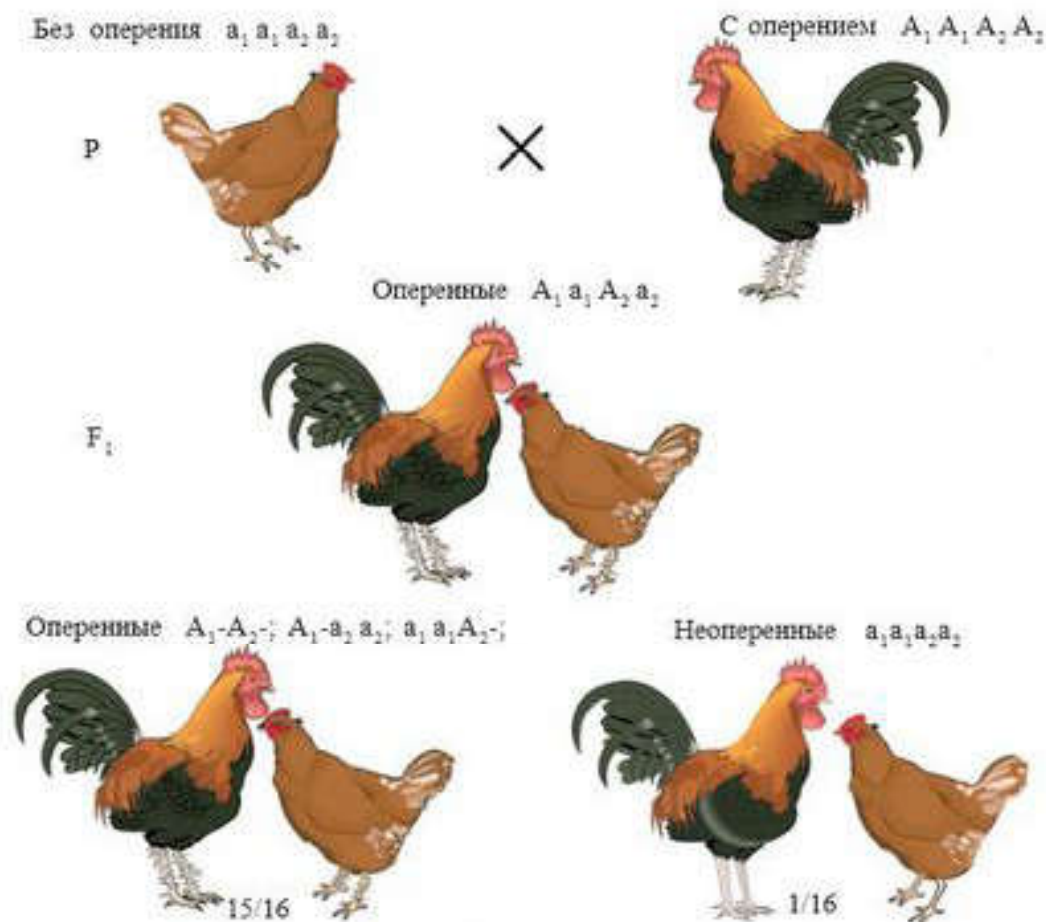


Рис. 142. Полимерия

генов. Чем больше доминантных аллелей n генов, тем сильнее выражен тот или иной признак.

Примером полимерной или полигенной наследственности может служить также цвет кожи у людей, проявляющийся от белого до черного. Если афроамериканец и белый человек будут состоять в браке, ребенок, рожденный от них, будет иметь промежуточный цвет кожи, т. е. будет мулатом. А если мулаты состоят в браке с мулатами, цвет кожи их детей будет варьироваться от белого до черного.

Полимерное явление было открыто в 1909 г. шведским генетиком и селекционером Н. Г. Нильсоном-Эле. По принципу полимерии наследуются многие сельскохозяйственно важные признаки, такие как высота растений, продолжительность вегетационного периода, содержание белка в зерне, скорость биохимических реакций и другие.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *комплементарность*?
2. Полимерия — явление, которое...
3. Кто и в каком году открыл полимерное явление?



Назовите явление, при котором один ген подавляет действие другого неаллельного гена.



Решите задачи.

1. Гомозиготный красный цветок скрестили с рецессивным гомозиготным белым цветком по двум доминантным генам. Определите генотип и фенотип потомков.
2. При скрещивании двух растений, выросших из серых семян, получили серые в сочетании 3 : 1. Определите генотип белых плодов родителей.
3. Определите цвет плодов потомства, полученного при скрещивании растения, выросшего из бордовых семян и растения с красными плодами.
4. Черный цвет сорта гречихи определяет доминантный А ген, а серый цвет — доминантный В ген. А ген — эпистазный В гену, т. е. В ген не функционирует там, где есть А ген. Если в зиготе нет двух доминантных генов, цвет потомства белый. Определите цвета семян растений, имеющих следующие генотипы:
а) $aaBb$; б) $aabb$; в) $Aabb$; г) $AABb$; д) $AaBB$.



Проведите дискуссию на тему: "Эпистаз. Комплементарность. Полимерия".

§ 77. ТЕОРИЯ МУТАЦИИ ХУГО ДЕ ФРИЗА. СПОНТАННЫЕ И ИНДУЦИРОВАННЫЕ МУТАЦИИ

Сегодня на уроке вы:

- изучите теорию мутации Хуго де Фриза, спонтанные и индуцированные мутации;
- научитесь находить причины мутагенеза и типы мутаций.

Знаете ли вы?

- Как называют изменчивость, возникающую в результате изменения генов? Назовите отличия физических, химических и биологических мутагенов.

Мутация — это случайное наследственное изменение генотипа организма, т. е. изменения или в структуре, числе хромосом, или непосредственно в генах. Мутация (с лат. *mutatio* — "изменение") представляет собой изменение генетического материала, которое появляется внезапно в природе или создается искусственно. В результате этого происходит наследственная изменчивость признаков и свойств организма.

Ключевые понятия:

- мутация
- мутант
- мутагены

Термин *мутация* был введен в 1901 г. голландским ученым Хуго де Фризом (1848—1935). Он заметил, что растения-энотеры по некоторым признакам отличаются от обычных и что эти признаки наследуются. Основываясь на своих исследованиях, в 1901 г. он опубликовал труд "Мутационная теория". Мутационные изменения он связывал с влиянием внешних факторов. Замена одного азотистого основания другим, или изменения в структуре одного или нескольких генов, ведут к возникнове-



Хуго де Фриз

нию мутаций. Мутация является естественным или искусственным изменением гена в клетке, т. е. изменением генетического материала, которое передается следующему поколению. Мутации в половых клетках также наследуются. Мутации, возникающие в соматических клетках, не передаются потомству при половом размножении. *Мутант* — это организм с измененными в результате мутации признаками.

Некоторые мутации имеют серьезные последствия, например, мутация, приводящая к серповидноклеточной анемии, передается потомству обоими родителями. Потомству передаются мутации, возникающие в половых клетках (половые клетки самки или самца).

Основные положения мутационной теории:

- Мутации присущи всем живым организмам. Они проявляются по-разному и могут быть как полезными, так и вредными. В большинстве случаев мутации оказываются вредными для животных и человека, потому как сформированная в ходе эволюционного процесса гармоничная система организма нарушается.

- Мутации могут быть вызваны воздействием факторов окружающей среды, называемых *мутагенами*, т. е. мутагены — факторы, которые влияют на возникновение мутаций (рис. 143).

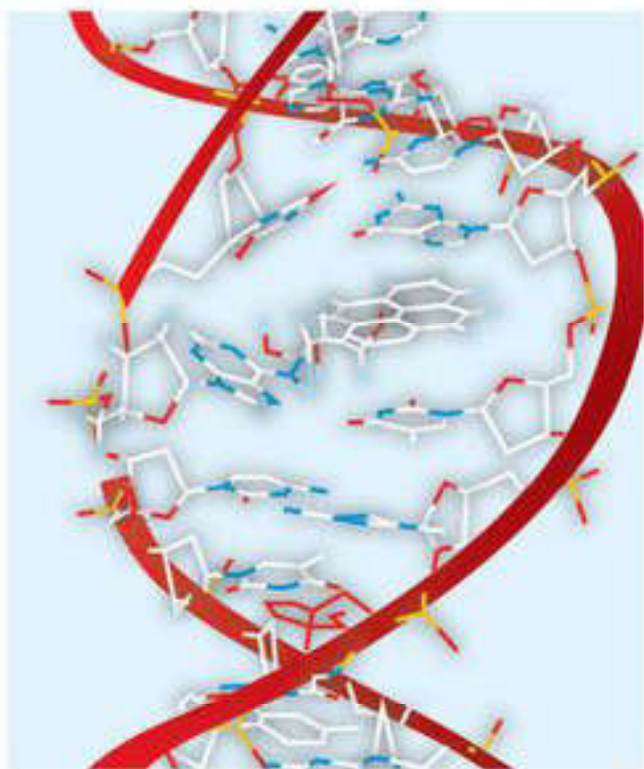


Рис. 143. Изменение нуклеотидного состава участка ДНК

Существуют три типа мутагенов: *физические*, *химические* и *биологические*. Физические мутагены включают радиоактивные, ультрафиолетовые лучи, лазерные лучи и т. д. К химическим мутагенам относятся колхицин, этиленмин, никотиновая кислота и другие химические вещества. Их число составляет более 400. Некоторые гербициды и пестициды в очень высоких концентрациях также могут вызывать мутации. Поэтому не следует подвергаться воздействию пестицидов в небезопасных для здоровья дозах.

К биологическим мутагенам относятся некоторые вирусы (вирус краснухи, вирус кори, грипп),

продукты обмена веществ (продукты окисления липидов), антигены некоторых микроорганизмов.

Мутационный процесс можно разделить на два типа: *естественный*, вызванный сам по себе, внезапно, скачкообразно, и *индуцированный*, вызванный специальными мутагенными факторами. При индуцированном мутагенезе появляется возможность искусственно получить наследственные изменения признаков в организме.

Мутации делятся на два типа, в зависимости от места возникновения: *генеративные* (половые клетки) и *соматические* (в клетках тела). Мутации, возникающие в половых клетках, передаются непосредственно следующему поколению. Соматические мутации не играют существенной роли у организмов, размножающихся половым путем, потому что изменения, которые происходят в соматических клетках, не передаются потомству. У организмов, которые размножаются не половым путем, все иначе. Изучение соматических мутаций важно для понимания причин возникновения раковых заболеваний. В настоящее время имеется много научных фактов, говорящих о том, что нормальные клетки перерождаются в раковые клетки в результате соматических мутаций.

Дополнительные сведения.

В Казахстане было проведено немалое количество ядерных испытаний. В результате этих испытаний в атмосферу, литосферу и гидросферу поступило очень большое количество радиоактивных веществ. Во многих регионах страны под воздействием радиации рождалось много детей-инвалидов.

Одним из самых крупных полигонов являлся Семипалатинский.



Проверьте свои знания:



1. Кто является основателем мутационной теории?
2. Каковы мутации: полезные или вредные? Укажите, в чем их вред и польза.
3. Какие факторы вызывают мутации?
4. Как называется труд Хуго де Фриза, опубликованный в 1901 г.?



Каковы пути возникновения мутаций?



Заполните в тетради таблицу.

Название изменчивости	Типы мутаций	Причины возникновения мутаций
Мутация		



Как вы можете объяснить, что мутации могут быть полезными и вредными? Приведите пример.

Приведите пример мутагенных факторов из повседневной жизни, кратко опишите их.

Охарактеризуйте физические, химические и биологические мутагены.

Что называется генотипической изменчивостью?

§ 78. ТОЧЕЧНЫЕ, ХРОМОСОМНЫЕ, ГЕНОМНЫЕ, ЯДЕРНЫЕ И ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКИЕ МУТАЦИИ

Сегодня на уроке вы:

- изучите разнообразные мутации;
- научитесь различать типы мутаций.

Знаете ли вы?

- Как называются мутации при изменении последовательности нуклеотидов в определенной части молекулы ДНК?

Ключевые понятия:

- полиплоидия
- геномная мутация
- анеуплоидия
- хромосомная мутация

Мутация (*mutation*) — это изменение в генетическом материале клетки, которое передается следующему поколению.

В зависимости от изменений генома мутации классифицируются на *генные*, *хромосомные*, *геномные* и *цитоплазматические*.

Генная, или **точечная**, мутация приводит к изменению цепочки нуклеотидов в определенной части молекулы ДНК — гене. Она происходит на молекулярном уровне и не видна при микроскопировании. В результате мутации организмы подвергаются биохимическим, физиологическим и морфологическим изменениям. Такие изменения в организме обнаруживаются сразу или постепенно, со временем. У полиплоидных мутантов клетки и органы увеличиваются в объеме. В случае, когда набор хромосом у них парный, то сохраняется их репродуктивная способность, а в случае, когда набор хромосом непарный, то и они утрачивают свою способность к репродукции. Во время возникновения генной мутации организм претерпевает серьезные изменения. Иногда изменение одного гена может привести к изменению в организме нескольких признаков (плейотропия). Генные мутации бывают *доминантными* (подавляющими), *частично-доминирующими* и *рецессивными* (подавляемыми).

Хромосомные мутации. Хромосомные мутации могут быть результатом изменения структуры хромосом. Некоторые структурные изменения можно наблюдать под микроскопом.

Изменения могут осуществляться как в пределах одной хромосомы — *внутрихромосомные* мутации, так и между хромосомами — *межхромосомные* мутации. Внутрихромосомные мутации включают: *дефициенцию* — нехватку концевой участка хромосомы, *делецию* — утрату хромосомой промежуточного (рис. 144) или концевой участка,

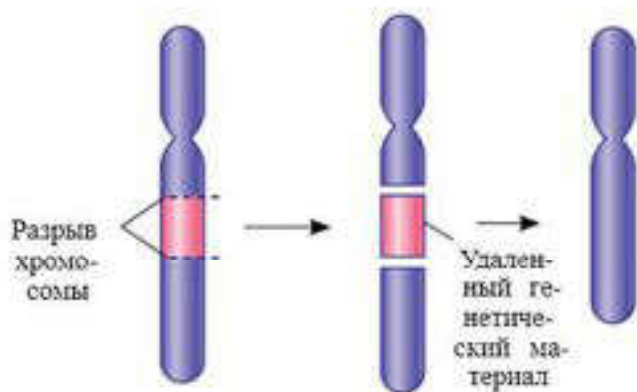


Рис. 144. Хромосомная мутация — делеция

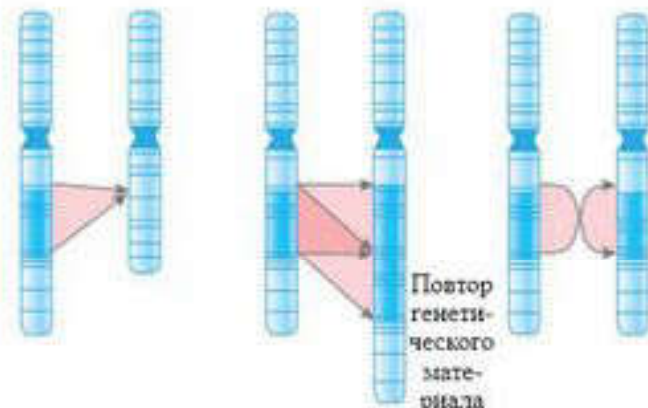


Рис. 145. Хромосомные мутации — дупликация

ин версию — перестройку, при которой происходит поворот участка хромосомы на 180° по отношению к себе; дупликацию — повторение (удвоение) определенной части хромосомы (рис. 145).

К межхромосомным изменениям относится транслокация — перенос участка одной из гомологичных хромосом на не гомологичную себе.

Если дефиценсия происходит на обоих концах хромосомы, то это может привести к образованию кольцевой хромосомы.

Геномные мутации связаны с изменением числа хромосом в клетке, что приводит к изменению некоторых признаков организма. Геном представляет собой совокупность генов, содержащихся в одинарном наборе хромосом данного организма. Известно, что постоянство хромосом и их передача из поколения в поколение осуществляются посредством деления клеток в процессе митоза и мейоза. Но в некоторых случаях механизмы этих процессов нарушаются, и хромосомы неправильно расходятся к полюсам клетки, в результате чего появляются клетки с измененным числом хромосом. При геномной мутации изменяется число хромосом или отдельное количество хромосом.

Геномные мутации характеризуются изменением числа хромосом, которые могут быть кратными или некратными гаплоидному набору. Кратное увеличение числа хромосом называется *полиплоидией*, а некратное изменение числа хромосом называется *анеуплоидией*, или *гетероплоидией*.

Полиплоидные организмы в зависимости от степени увеличения числа хромосом делятся на: $3n$ — *триплоидные*, $4n$ — *тетраплоидные*, $5n$ — *пентаплоидные* и т. д. Полиплоидия является причиной изменения многих признаков в организме. Именно поэтому она считается важным источником наследственной изменчивости для эволюции и селекции. Например, если взять тетраплоидную форму ржи, выведенную селекционером В.Ф. Федоровым, она отличается крупнозерностью

и прочным стеблем по сравнению с диплоидной формой. Существуют два типа полиплоидии — *автополиплоидия* и *аллополиплоидия*. Если геном, обозначенный через букву А, — это автоплоид, то АА будет автодиплоидом, ААА — автотриплоидом. Полиплоидные организмы, образующиеся в результате объединения различных наборов хромосом от разных видов, родов, называются *аллополиплоидами*. Например, если у межвидового гибрида имеются геномы А и В, то полученный от него аллодиплоид будет АВ, гибрид с удвоенными геномами ААВВ — аллотетраплоид.

Полиплоидия — явление, редко встречающееся у животных. Чаще всего наблюдается у насекомых, размножение которых сопровождается партеногенезом. В качестве примера можно взять аскариду, дождевых червей и бабочек.

Анеуплоидия, или *гетероплоидия*, наблюдается в результате изменения кариотипа, при котором число хромосом в клетках не равно гаплоидному набору. Впервые это явление заметил К. Бриджес у дрозофил при изучении наследования признаков, сцепленных с полом. У самок дрозофил в соматических клетках он обнаружил XXУ половые хромосомы (т. е. лишняя Y хромосома). Также он обнаружил самцов с XO-хромосомами, т. е. выявил отсутствие Y-хромосомы. В связи с этим у дрозофилы по некоторым признакам (крылья, глаза и т. д.) наблюдаются изменения. В случае, когда дефектные половые клетки сливаются с нормальными, гаплоидными гаметам, образуется зигота с набором хромосом $2n + 1$ — *трисомик*. Если в гамете на одну хромосому меньше, то в результате оплодотворения образуются *моносомики*, т. е. в зиготе набор хромосом $2n - 1$. Например, изменения в виде трисомии по 21 паре хромосом у человека приводит к сложным аномалиям — синдрому Дауна. В некоторых случаях к паре хромосом могут быть дополнительно добавлены не одна, а две хромосомы $2n + 2$, — образуется *тетрасомик*, в случае трех дополнительных хромосом $2n + 3$ — *пентасомик*. Таким образом, анеуплоидия, вызывая определенные изменения в генотипе и фенотипе организмов, приводит к снижению жизнедеятельности, плодовитости, уменьшению продолжительности жизни, и, по сравнению с нормальными диплоидами, возникает множество морфологических различий. Анеуплоидия у растений не сильно влияет на их жизнедеятельность.

Цитоплазматические мутации. Эти мутации связаны с изменением плазмогенов (внеядерный генетический материал) клеточной цитоплазмы. Плазмогены в основном встречаются в пластидах и митохондриях. Цитоплазматическая мутация, так же, как и генная и другие мутации, передается по наследству. Например, было выявлено, что некоторые

грибы имеют дефекты в процессе дыхания. При исследовании было установлено, что такой дефект обусловлен мутацией гена в их митохондриях. Также изменения в генетическом материале пластид приводят к хлорофильной мутации.



Проверьте свои знания:



1. Как называется мутация, связанная с изменением плазмогенов?

2. К каким мутациям относят изменения структур хромосом?

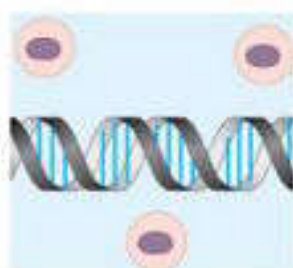
3. К каким мутациям приводит изменение числа хромосом?



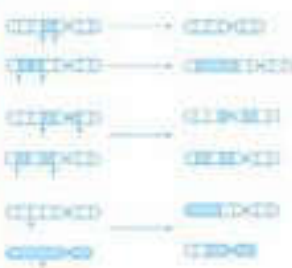
4. Охарактеризуйте мутации, которые наблюдаются при изменении последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК?



Определите, согласно рисункам, виды мутаций с 1 по 4.



1



2



3



4



Установите соответствие.

Вид мутации	Свойство мутации
Генная, или точечная, мутация	Изменение структуры хромосомы
	Изменение признаков и свойств организма, связанное с изменением числа хромосом в клетках
Хромосомная мутация	Изменение последовательности нуклеотидов в части молекулы ДНК
	Изменение плазмогенов пластид и митохондрий
Геномная мутация	Изменения на биохимическом, физиологическом и морфологическом уровнях
Цитоплазматическая мутация	Бывают внутривнутрихромосомными и межхромосомными
	Изменение числа хромосом, кратное или не кратное гаплоидному набору

§ 79. СОСТАВЛЕНИЕ КАРИОГРАММЫ ХРОМОСОМНОГО НАБОРА ЧЕЛОВЕКА. ИЗУЧЕНИЕ ГЕНОМНЫХ МУТАЦИЙ

Сегодня на уроке вы:

- изучите геномные мутации;
- научитесь находить причины мутагенеза и типы мутаций.

Знаете ли вы?

- Что вы знаете о структурах, находящихся в ядре клетки и определяющих наследственность организмов и клеток?

Ключевые понятия:

- кариограмма
- геномная мутация
- анеуплоидия
- гаплоидия
- соматические мутации
- генетическая карта
- группа сцепления

Хромосомы — это структурные образования в ядре клеток, являющиеся носителями генов и определяющие наследственность, свойства клеток и организмов. Хромосомы способны к самовоспроизведению, обладают структурной и функциональной индивидуальностью и сохраняют ее в ряду поколений. Термин *хромосома* впервые был предложен немецким ученым В. Вальдейером. Он назвал хромосомы плотными телами, которые интен-

сивно окрашиваются при их спирализации. Но внешняя форма хромосом меняется на разных этапах клеточного цикла. На стадии метафазы во время процессов митоза и мейоза хромосомы отчетливо видны в световой микроскоп. Хромосомы в клетках организма многих растений и животных состоят из двух хроматид (длинных нитей), полученных в процессе оплодотворения от исходных женского и мужского организмов. Такие хромосомы называются *парными* или *гомологичными*.

Типы хромосом и их характеристика по соотношению плеч (рис. 146): 1) метацентрические (равноплечие); 2) субметацентрические (слабо неравноплечие); 3) акроцентрические (сильно неравноплечие); 4) телоцентрические (центромера расположена на одном конце хромосомы).

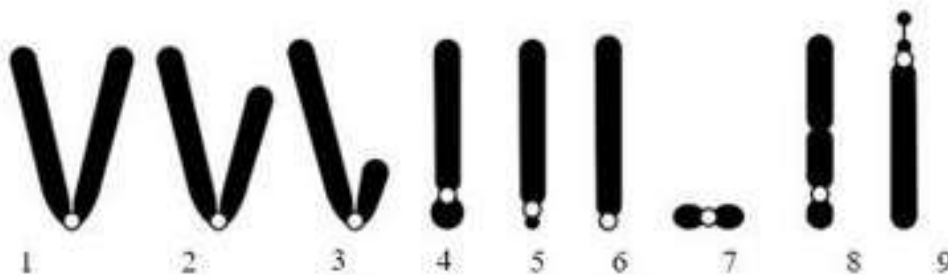


Рис. 146. Типы хромосом:

- 1, 7 — метацентрические (равноплечие); 2 — субметацентрическая (слабо неравноплечая); 3, 4, 5 — акроцентрические (резко неравноплечие); 6 — телоцентрическая (с терминальной центромерой); 8 — акроцентрическая со вторичной перетяжкой; 9 — спутничная; центромеры обозначены светлым кружком

Хромосомы имеют сложную структуру в клетке и играют очень важную роль. Изучение структуры и функций хромосом является одним из актуальных вопросов современной биологии. Понимание молекулярной основы структур хромосом в 60—70-х гг. XX в. было достигнуто благодаря развитию молекулярной генетики. Эти данные позволили развить и доказать основные закономерности хромосомной теории наследственности.



Моделирование “Составление кариограммы хромосомного набора человека. Изучение геномных мутаций”

Кариограмма — графическое изображение кариотипа, т. е. число, форма, размер, длина и толщина хромосом, расположение центромеры. В медицине с помощью кариограммы диагностируют различные заболевания.

При анализе кариограммы человека необходимо соблюдать следующие условия:

1. Нумеровать пары гомологичных хромосом даже в том случае, когда гомологичные хромосомы представлены не двумя, а одной или тремя хромосомами.

2. Найти на кариограмме аутосомы и половые хромосомы. Половые хромосомы обычно располагаются отдельно от аутосом. У человека нормальная кариограмма содержит 22 пары аутосом и 1 пару половых хромосом. Кариограмма больного человека может содержать 45—46 аутосом и 1—3 половые хромосомы.

3. Определить пол человека по его кариограмме.

4. Если все они одинаковые, среднего размера и метацентрические, то это — X-хромосомы, и перед вами кариограмма женского организма.

5. Если среди половых хромосом есть небольшая акроцентрическая хромосома, значит, это — Y-хромосома, и перед вами кариограмма мужского организма.

6. Посмотреть, все ли хромосомы представлены парами.

7. Если кариограмма содержит 23 пары хромосом, значит, перед вами нормальная кариограмма человека.

8. Если в кариограмме те или иные хромосомы представлены 1 или 3 хромосомами, значит, перед вами кариограмма с геномной мутацией — отсутствием или избытком хромосом. В этом случае кариограмма содержит 45 или 47 хромосом.

Геномная мутация — это изменение количества хромосом в клетке. Геномные мутации возникают в процессе мейоза при неправильном расхождении хромосом. В результате образуются гаметы с измененным числом хромосом. Если эти гаметы будут участвовать в процессе оплодотворения, то образуется зигота с измененным числом хромосом. Геномные мутации подразделяются на три типа: *анеуплоидия* — потеря или добавление одной или нескольких хромосом. Например, при синдроме Дауна или синдроме Клайнфельтера в кариотипе человека содержится 47 хромосом. *Гаплоидия* — это одинарный набор хромосом. Тогда зигота будет иметь набор хромосом $1n$. *Полиплоидия* — это увеличение числа хромосом при $2n+1n$ или $2n+2n$, $2n+3n$ и т. д. Следует отметить, что у животных полиплоидные организмы часто нежизнеспособны. Однако у растений они не только жизнеспособны, но и отличаются большими размерами, высокой продуктивностью. Многие виды полиплоидов у растений получены путем искусственного мутагенеза.

Наряду с этим бывают соматические мутации — изменения происходят в клетках всего тела; гаметатические — изменения происходят в половых клетках. По своей природе они бывают: вредные — наследственные изменения приводят к ухудшению жизнедеятельности; нейтральные — наследственные изменения, не влияющие на жизнедеятельность; полезные — наследственные изменения благотворно влияют на жизнедеятельность организма.

Карта хромосом человека называется *генетической картой*. Генетическая карта представляет собой линейное расположение генов в хромосоме. Генетические карты строятся для каждой пары идентичных хромосом. Совокупность генов, находящихся в одной хромосоме, называют группой сцепления. Число групп сцепления равно гаплоидному числу хромосом организма. При построении генетических карт отображается группа сцепления, полные или сокращенные названия генов и записываются числа, указывающие на расстояние между генами в хромосоме. Расстояние между генами равно одному проценту кроссинговера. Это расстояние измеряется в единицах сантиморган (сМ).



Проверьте свои знания:



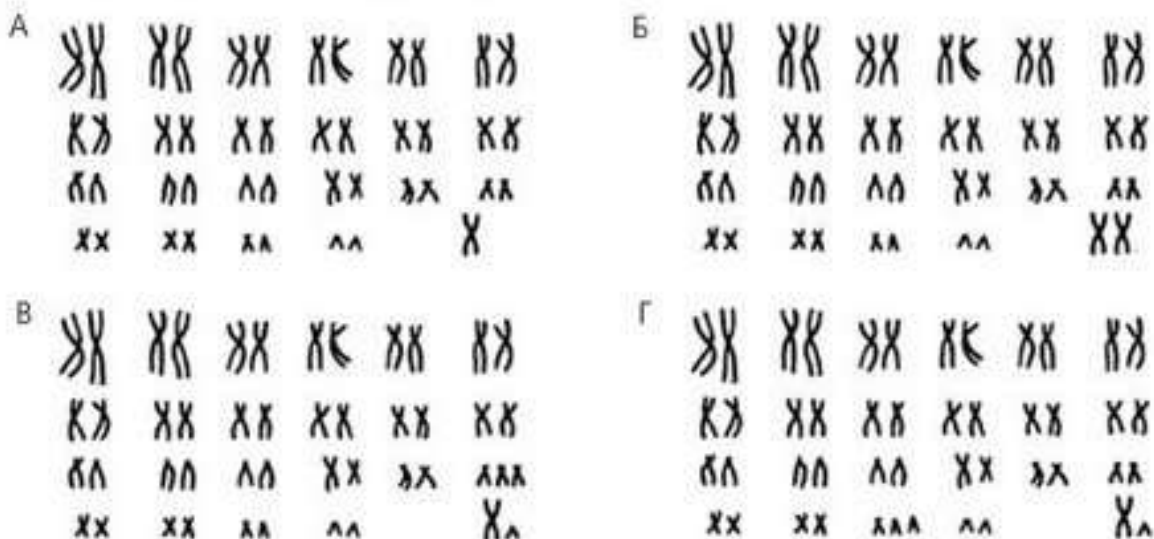
1. Что такое *хромосома*?
2. Назовите типы хромосом и дайте им характеристику.
3. Что такое кариограмма?
4. Геномная мутация — это...
5. Что собой представляют генетические карты хромосом?



Каковы условия анализа кариограммы человека?



Сделайте анализ данной кариограммы.



§ 80. ХРОМОСОМНЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА, СВЯЗАННЫЕ С АНОМАЛЬНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ХРОМОСОМ

Сегодня на уроке вы:

- изучите хромосомные заболевания человека;
- научитесь описывать хромосомные заболевания человека, связанные с аномалиями числа хромосом (аутосомные и половые).

Знаете ли вы?

- Каков механизм появления хромосомных болезней?

Хромосомные заболевания представляют собой большую группу патологий, которые отличаются по своим клиническим характеристикам. Причиной для них являются хромосомные или геномные мутации. В отличие от других наследственных заболеваний, хромосомные заболевания не наследуются по законам Г. Менделя.

Согласно современным научным данным, 5% новорожденных детей рождаются с различными генетическими изменениями, а около 0,5% из них имеют хромосомные заболевания. Сегодня описано около 700 хромосомных изменений, из которых около 100 приводят к отставаниям в развитии, изменениям развития тела, развитию других различных хромосомных заболеваний. Основными клиническими проявлениями хромосомных заболеваний у человека являются врожденные болезни, психические расстройства, нарушения полового развития, что приводит к бесплодию, и т. д.

Хромосомные заболевания могут быть вызваны мутациями в родительских гаметах или мутациями, которые произошли на ранних стадиях развития плода. Мутации, которые происходят в гаметах, проявляются полной формой заболевания, а мутации в клетках плода могут привести к развитию смешанной (мозаичной) формы (рис. 147). При смешанной форме в некоторых клетках организма имеется нормальный кариотип, а в других наблюдаются нарушения в кариотипе. Общее количество хромосомных аномалий в гаметах человека составляет около 750, а 700 из них обусловлены отклонением структуры хромосом.

Механизм возникновения хромосомных заболеваний. Основной причиной многих хромосомных заболеваний является изменение эволюционно слаженной системы — кариотипа, т. е. нарушение числа хромосом или структуры хромосом.

Колебания числа хромосом организмов обусловлены тем, что хромосомы неправильно расходятся в процессе деления клеток или из-за влияния различных мутагенных факторов. Это приводит к увеличению числа хромосом (полисомия — $3n$, $4n$, $5n$ и т. д.) и, далее, к добавлению или уменьшению одной или нескольких хромосом в кариотипе (анеуплоидия — $2n-1$; $2n+1$).

Ключевые понятия:

- хромосомные заболевания
- анеуплоидия
- синдром Патау
- синдром Дауна
- синдром Шерешевского — Тернера
- синдром Эдвардса
- синдром Клайнфельтера



Рис. 147. Аномальная хромосома

Увеличение числа хромосом (полисомия — $3n, 4n$) у человека наблюдается только у внезапно умершего плода при выкидыше, потому что полиплоидный плод всегда погибает на самых ранних стадиях развития. У растений полиплоидия ($3n, 4n, 5n$) приводит к проявлению ценных качеств — высокой жизнеспособности, продуктивности и т. д. Поэтому селекционеры широко используют полиплоидию для получения новых сортов растений.

Анеуплоидия — результат отклонения числа аутосомных или половых хромосом. Когда изменяется число половых хромосом, каждая дополнительная X-хромосома оказывается очень плотной структурой и ее гены неактивны. Они влияют на клетки, метаболизм клеток и развитие организма.

В настоящее время из описанных около 100 хромосомных заболеваний 95 характеризуются пятью хромосомными отклонениями: трисомия — 3 в 18 паре хромосом, синдром Патау (47 хромосом), синдром Шерешевского — Тернера (45, XO), синдром Клайнфельтера (47, XXY).

Синдром Патау (рис. 148). Болезнь вызвана нерасхождением 13-й пары хромосом в результате мейотического деления клетки. В карิโอ- типе образуется 47 хромосом.

Заболевание характеризуется множеством дефектов нервной системы глаз, костно-мышечной системы, сердца, урогенитальной системы и др. Для выявления и подтверждения синдрома Патау проводится перинатальный скрининг, исследование карิโอ- типа ребенка после рождения. Детям с синдромом Патау необходима общеукрепляющая терапия; по показаниям — коррекция врожденных пороков развития.

Частота рождения детей с синдромом Патау составляет 1:7000—10 000; соотношение полов примерно одинаковое. Клинический симптомоком-



Синдром Патау



Синдром Дауна

Рис. 148. Синдром Патау и Синдром Дауна

плекс был описан еще в XVII в.; связь же заболевания с увеличением количества хромосом 13-й пары была установлена в 1960 г. К. Патау, по имени которого данный синдром и получил свое название. При синдроме Патау у ребенка имеются множественные и крайне тяжелые аномалии развития, определяющие частые случаи внутриутробной гибели плода и малую продолжительность жизни детей с данной патологией.

Синдром Дауна. Синдром представляет собой комбинацию нескольких заболеваний, которые не являются специфическими для конкретного заболевания. Болезнь была впервые описана Л. Дауном в 1855 г., но ее причины были выявлены через 100 лет. Эта болезнь распространена у обоих полов, со средней частотой 1/700. Основной клинической характеристикой синдрома Дауна является задержка психического развития. Можно обучать таких детей, но достичь высокого уровня интеллектуального развития невозможно. Хотя в их центральной нервной системе нет значительных нарушений, они остаются незащищенными, уязвимыми и неприспособленными в социуме (рис. 148).

Основные фенотипические проявления заболевания включают: низкий рост, плоский затылок, маленькие кости черепа, раскосые глаза, плоскую переносицу. У детей с такими заболеваниями имеются нарушения сердечно-сосудистой системы, а также нарушения функций желез внутренней секреции.

Синдром Шерешевского — Тёрнера (ХО). Этот синдром был описан в 1925 г. Н. А. Шерешевским и в 1938 г. Тернером. Синдром Шерешевского — Тернера можно отчетливо наблюдать у новорожденных девочек, длина и масса тела которых значительно отстают от нормы, опухоли на руках и ногах, недоразвитые ногти. У них врожденные пороки сердца, сужение легочной артерии, короткие волосы, короткая и толстая шея. Отличительными признаками являются также изменения в развитии позвоночника, грудной клетки и укорочение 4—5-го пальцев, короткие ноги. У таких детей широкие плечи, узкие ягодицы, по внешней структуре похожи на мужчин (рис. 149).

Синдром Эдвардса. Этот синдром был открыт в 1960 г. Эдвардом. Этой болезнью болеют дети, они рано умирают. Было установлено, что мальчики чаще умирают в первые недели их жизни или во время эмбрионального развития.

Основные симптомы болезни: низкая масса тела у новорожденных, невысокий рост, мелкие кости черепа, маленькие уши и их низкое расположение. Наблюдаются нарушения зрения. Пальцы рук слишком длинные или слишком короткие, бывает от 2 до 5 пальцев, измененная форма ног. Наблюдается расстройство сердечно-сосудистой системы,

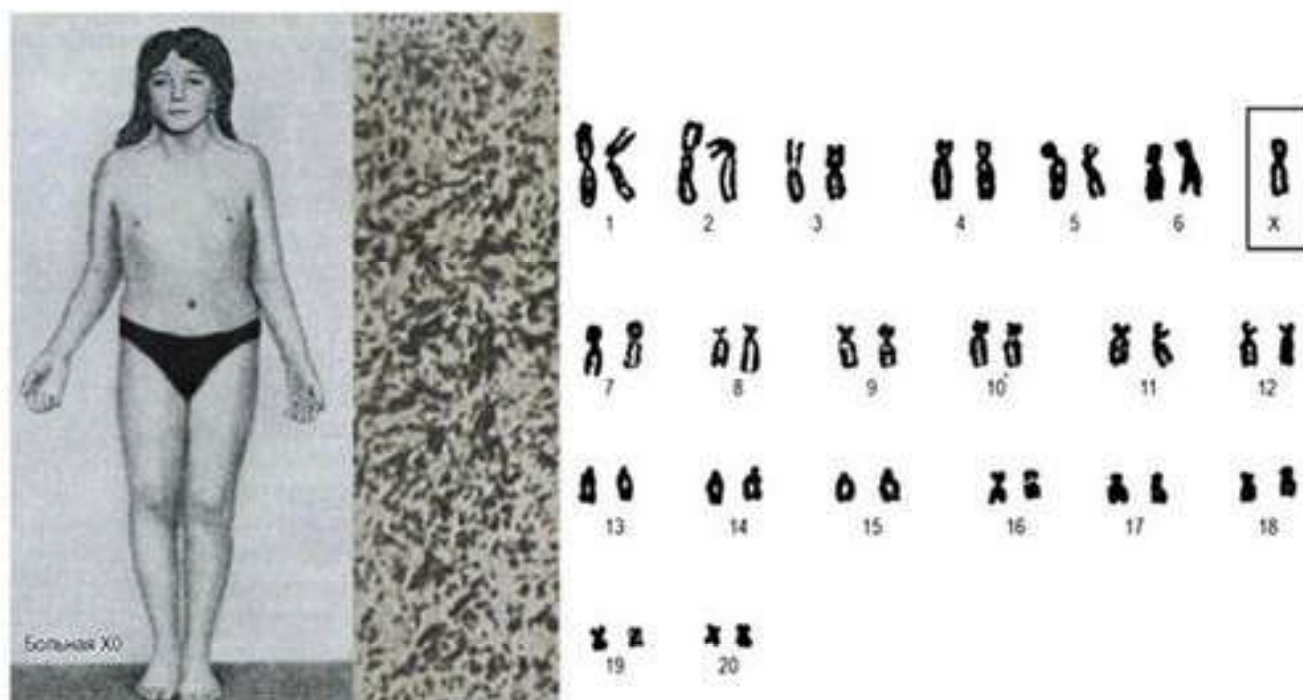


Рис. 149. Синдром Шершевского — Тернера (XO)

функций почек. Синдром Эдвардса можно было определить по короткой пуповине или наличию одиночной пупочной артерии. Небольшое количество таких детей дорастает обычно до совершеннолетия.

Болезнь Клайнфельтера. Этим синдромом заболевают только мальчики. Признаки: половые железы неправильно развиваются, умственная отсталость, верхние и нижние конечности длиннее нормы, непропорциональны туловищу. Причиной заболевания являются соединение с половыми хромосомами одной лишней X-хромосомы (рис. 150). Общая диплоидная совокупность хромосом у больного человека — 47, половые хромосомы — XXY. По всемирной статистике, этой болезнью болеют два мальчика из 1000.

Лечение наследственных заболеваний. Одна из основных проблем, стоящих перед медицинской генетикой, — выявить биохимические механизмы наследственных заболеваний и найти способы их лечения.

Хромосомные заболевания можно наблюдать в любом возрасте. У многих аномалии проявляются сразу после рождения. Ухудшение состояния окружающей среды, влияние неблагоприятных факторов окружающей среды на организм человека привели к увеличению числа данных патологий.

Социальная сторона этой проблемы — число людей с ограниченными возможностями увеличивается, а для их содержания уровень расходов в экономическом отношении очень высок.

Для медицинской генетики является важным изучение путей сохранения здоровья населения.

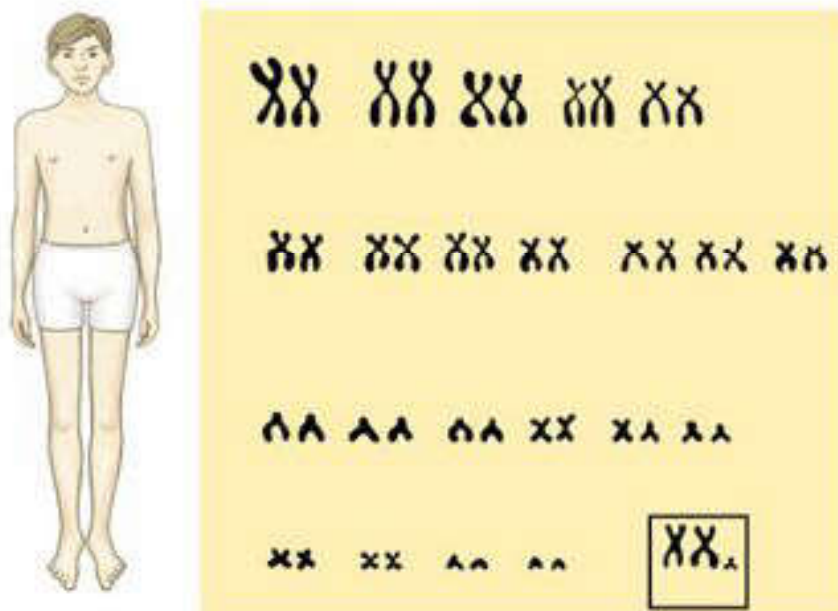


Рис. 150. Синдром Клайнфельтера



Проверьте свои знания:



1. Что такое *хромосомные заболевания*?
2. В чем разница между хромосомными заболеваниями и другими наследственными заболеваниями?
3. Какова основная причина появления хромосомных нарушений?
4. Назовите заболевание, наблюдающееся у новорожденных девочек.
5. Каковы анатомические признаки синдрома Клайнфельтера? Какие отклонения наблюдаются в хромосомах?
6. Назовите анатомические признаки синдрома Шерешевского — Тернера. Каковы отклонения в хромосомах?
7. Перечислите анатомические признаки синдрома Дауна. Каковы отклонения при этом в хромосомах?



Что такое анеуплоидия?



Дополните предложения подходящими по смыслу словами.

1. ...представляют собой большую группу патологий, которые отличаются по своим клиническим характеристикам.
2. Причинами для всех из них являются... или ...мутации.
3. Заболевание, которое характеризуется лишней хромосомой по 21 паре хромосом человека, — ...
4. Заболевания, вызванные мутационными изменениями генетического материала, называются...
5. Когда изменяется структура и количество хромосом, возникают...
6. Причиной синдрома Дауна является тот факт, что в 21 паре аутосомных хромосом...
7. Причиной синдрома Клайнфельтера является...
8. Причиной синдрома Шерешевского — Тернера является...



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБОБЩЕНИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИИ ЗНАНИЙ ПО РАЗДЕЛУ

1. К чему приводят изменения разных признаков и свойств организма в зависимости от условий внешней среды? Приведите пример.
2. Что такое вариационный ряд и коэффициент вариации? Расскажите об их значении.
3. Всем видам растений и животных присуще определенное количество хромосом – кариотип. Объясните, почему?
4. Дайте описание первому закону Менделя. Охарактеризуйте его генетическую сущность.
5. На чем основан второй закон Менделя? Охарактеризуйте его генетическую сущность.
6. В чем ключевое значение цитологических основ скрещивания? Поделитесь мыслями.
7. Почему необходимо индивидуальное скрещивание? Объясните его значение.
8. Что такое решетка Пеннета? Охарактеризуйте ее.
9. Расскажите о различии моногибридного и дигибридного скрещивания.
10. Дайте описание понятиям *фенотип*, *генотип*, *ген*.
11. Что такое наследование, сцепленное с полом? Расскажите об ученом, внесшем вклад в изучение наследования, сцепленного с полом, и его экспериментах.
12. Назовите признаки наследования, сцепленные с полом.
13. Что такое множественный аллелизм? Приведите пример.
14. Множественный аллелизм, каковы его особенности в процессе расщепления F_2 ?
15. Кто является основоположником хромосомной теории наследственности, в чем ее значение?
16. Как называется закон Т. Моргана? В чем его значение?
17. Объясните с приведением примера понятие «Группа генов, расположенных в одной хромосоме и наследуемые в сцеплении группы сцепления».
18. Что такое кроссинговер? Кто и как открыл это явление?
19. Какие хромосомы называются некриссоверными?
20. Опишите явление «Множественное действие генов».
21. Назовите типы взаимодействия неаллельных генов.
22. Что такое полимерные гены? Каково их значение?
23. Что такое неполное доминирование?
24. Как называется явление, когда один ген определяет несколько признаков и свойств в организме? Приведите пример.
25. Как называют взаимодействие неаллельных генов, при котором они дополняют друг друга, а признак формируется лишь при одновременном действии двух доминантных генов?
26. Супрессор ген — это... В чем его значение?
27. Что такое мутация? Назовите ее основные правила.
28. Какие мутагены вы знаете? В чем заключается их роль?
29. Дайте объяснение геномной, хромосомной и генной мутациям.
30. В чем различие полиплоидии и анеуплоидии?
31. Дайте описание типам хромосом.
32. Какие виды хромосомных заболеваний вы знаете? Опишите их.

ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ. ОСНОВЫ СЕЛЕКЦИИ. РАЗНООБРАЗИЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

9

§ 81. ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТЬЮ И ЭВОЛЮЦИЕЙ

Сегодня на уроке вы:

- изучите взаимосвязь между наследственной изменчивостью и эволюцией;
- научитесь объяснять взаимосвязь между наследственной изменчивостью и эволюцией.

Знаете ли вы?

- Какова роль Чарльза Дарвина в создании эволюционного учения? Какие определения биологической эволюции вы знаете?

Эволюционное учение — это учение о причинах, движущих силах, механизмах и общих закономерностях эволюционного развития живых организмов.

Эволюция (с лат. *evolution* — “развертывание”) — это необратимое и относительно направленное историческое развитие живой природы. Чарльз Дарвин, английский ученый, является основоположником эволюционного учения, отсюда эволюционное учение называют дарвинизмом.

В 1762 г. в своих трудах швейцарский философ Шарль Бонне впервые применил термин *эволюция*. Явление эволюции проявляется на всех уровнях организации жизни — от молекулярного до биосферного. Материалом для эволюции являются мутации. Новые признаки и свойства, вызванные мутациями, закрепленными естественным отбором, позволяют организму адаптироваться к новым условиям окружающей среды. Самые первые эволюционные процессы появляются на уровне популяций. В это время изменяется генотип организма.

Существует несколько определений биологической эволюции:

- необратимый процесс исторического развития живых организмов;
- процесс постепенного усложнения и совершенствования биологической системы;

Ключевые понятия:

- эволюционное учение
- наследственная изменчивость
- биологический прогресс
- биологический регресс
- ароморфоз
- идиоадаптация
- дегенерация

• процес с медленного изменения живых организмов от простых форм к более сложным.

Важно понимать, что эволюция как процесс исторических изменений не всегда единообразна. Скорость эволюционных изменений в различных системных группах организмов значительно отличается. Некоторые группы в определенное время могут развиваться быстрее по сравнению с другими, а затем эта же группа в течение исторического развития может абсолютно остановить свое развитие. Сотни и тысячи факторов влияют на развитие и прогрессирование любых систематических групп живых организмов. В частности, их сохранение, выживание и дальнейшее совершенствование зависят от дальнейших факторов развития.

В 1859 г. теория эволюции Дарвина была основой эволюционного учения. Он раскрыл движущие силы эволюции организмов, а также то, что эволюция основана на *наследственной изменчивости, борьбе за выживание и естественном отборе*. В результате была сформулирована *теория Дарвина*.

На развитие эволюционного учения большое влияние оказало открытие биогенетического закона. В начале XX в. были открыты законы наследования Г. Менделя. После Дарвина на основе достижений молекулярной биологии и генетики были выявлены новые факты и проведены новые анализы. Например, российский ученый С. Четвериков (1880—1959) заявил, что в популяции много гетерозиготных мутантных генов и это — основа наследственной изменчивости; отдельные признаки индивидуума можно отнести к адаптивным. Он ввел понятие “популяционная волна”. Американский ученый С. Райт (1889—1959) подчеркнул концепцию дрейфа генов. В 30-х г. XX в. теории микро- и макроэволюции назывались *синтетической теорией эволюции*. Материалом эволюции служит наследственная изменчивость (мутация), популяционные волны, изоляция, явление случайного и ненаправленного дрейфа генов — это эволюционные факторы, а естественный отбор является движущей силой эволюции. Эволюция систематических групп может идти посредством биологического прогресса и регресса.

Биологический прогресс — это увеличение численности вида в систематической группе, расширение его ареала, изоляция, разделение на другие систематические группы, адаптация популяции и вида к среде обитания. Академики А. Н. Северцов и И. И. Шмальгаузен определили направления биологической эволюции. Это: *ароморфоз, идиоадаптация, дегенерация*.

Ароморфоз (от греч. *airo* — поднимаю и *morphosis* — форма) иногда называют также арогенез. В этом случае наблюдаются усложнение

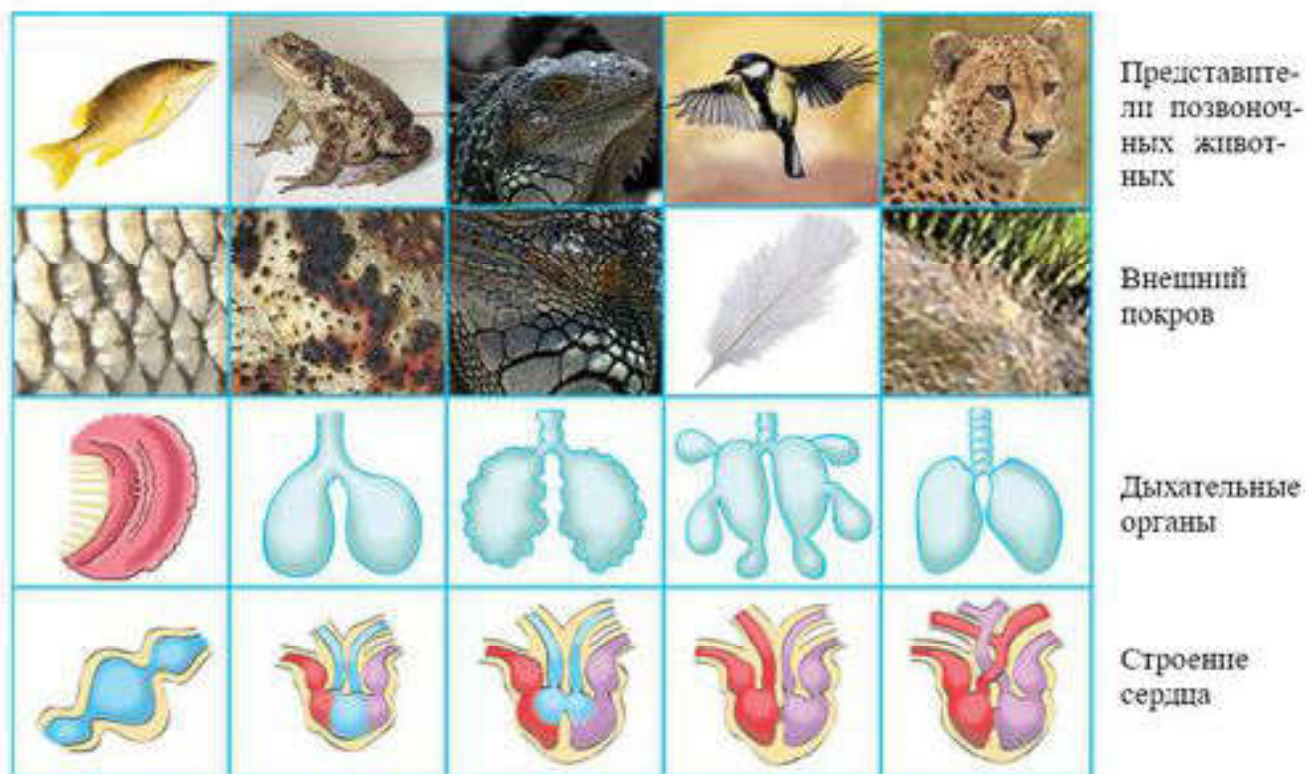


Рис. 151. Ароморфоз животных

организации и повышение жизнедеятельности организмов. Например, у плоских червей, возникших от двухслойных организмов, появляется третий слой — мезодерма. Также это возникновение системы кровообращения у червя, развитие внутреннего скелета у хордовых, усложнение структуры сердца и других органов у позвоночных животных. *Ароморфоз* — это результат наследственной изменчивости и естественного отбора (рис. 151).

Идиоадаптация (от греч. *idios* — своеобразный, особый и *adaptatio* — приспособление) — это частные приспособления организмов к определенным условиям жизни в процессе борьбы за выживание, без усложнения и изменения структуры организма. Поскольку каждый вид живет в определенной среде, у него формируются полезные приспособления, характерные именно для этой среды. Примером может служить маскировочная окраска животного, колючки у растений, железистые волоски, а у ската и камбалы, обитающих в придонной воде, — плоская форма тела.

Дегенерация, или **морфофизиологический регресс**, — упрощение строения в результате адаптации организмов к постоянным и нормальным условиям. Например, из-за паразитического образа жизни плоские черви утратили органы осязания, пищеварения, произошло упрощение структур нервной системы. Также упрощенная организация характерна паразитическим растениям — заразихе, повелике, которые встречаются на корнях подсолнечника, конопли, стеблях клевера и др.

Биологический регресс — снижение приспособленности организма, сокращение численности, сужение его ареала.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *эволюция*? Дайте определение.

2. Материалом для эволюции являются...

3. *Биологический прогресс* – это...

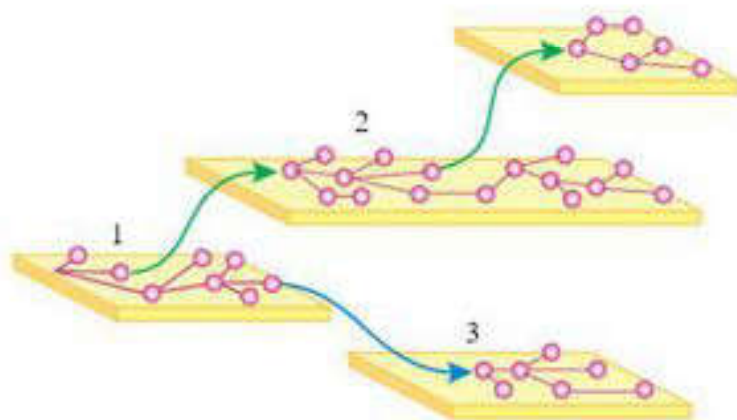


4. Что называют *идиоадаптациями*?

5. Какие новые открытия были сделаны после Дарвина?



1. Сделайте выводы по представленному рисунку. В качестве доказательства приведите примеры.



2. Начертите таблицу в тетради и внесите в нее номера рисунков.

Ароморфоз	Идиоадаптация	Дегенерация



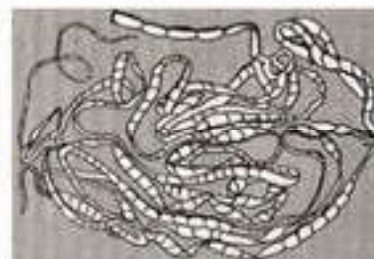
1



2



3



4



5



6



7

§ 82. НАСЛЕДСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ — ОСНОВА ЭВОЛЮЦИИ

Сегодня на уроке вы:

- изучите наследственную изменчивость — основу эволюции;
- научитесь анализировать факторы, влияющие на процесс эволюции.

Знаете ли вы?

- Что такое макроэволюция и микроэволюция? Какие концепции эволюционного развития вы знаете?

Наследственная изменчивость — это материал для эволюции. Данный вид изменчивости затрагивает структуру генотипа до уровня нуклеотидов ДНК, изменяет количество хромосом, структуру генов, поведение хромосом. При этом новые признаки передаются новым поколениям. Наследственная изменчивость бывает двух типов: комбинативная и мутационная. Первая возникает в случае появления нового сочетания генетического материала. Самым простым ее примером служит конъюгация и кроссинговер, т. е. рекомбинация генов в мейозе. Второй вид — это мутационная наследственная изменчивость. Она возникает в результате резких ненаправленных изменений генотипа под воздействием различных факторов.

Ключевые понятия:

- эволюционное развитие
- наследственные свойства
- генетическая информация
- модификационная изменчивость

В 1927 г. российский генетик Ю.А. Филипченко предложил разделить дарвиновское эволюционное учение на два процесса: микроэволюцию и макроэволюцию.

Микроэволюция представляет собой совокупность эволюционных процессов, происходящих в популяциях одного вида и изменяющих генофонд этих популяций, это и приводит к возникновению новых видов. В 1938 г. российский ученый Н. В. Тимофеев-Рессовский ввел в науку термин *микроэволюция*. Микроэволюция является результатом естественного отбора на основе мутационной изменчивости. Кроме того, на процесс микроэволюции влияют колебания численности популяции, обмен их генетической информацией, изоляция и дрейф генов.

Микроэволюция в целом приводит к изменению всего генофонда биологических видов или, в случае изоляции некоторых популяций, возникновению нового вида, отличающегося от предков. Для того чтобы микроэволюционные исследования были результативными, рассматриваются генетическая структура популяции и ее динамика.

Макроэволюция — это процесс, который способствует формированию надвидовых таксонов (родов, семейств, отрядов, классов и т. д.).

Термин *макроэволюция* был впервые введен Ю.А. Филипченко в 1927 г. На основе современных исследований был сделан вывод, что макроэволюция строится на основе процессов микроэволюции и что специального механизма макроэволюции не существует. Макроэволюция и ее направления — сам процесс биологической эволюции — это стремление организмов к биологическому прогрессу, т. е. к выживанию, сохранению в историческом развитии. Для этого необходимо освоить обширный ареал распространения и воспроизвести большое количество потомков. А. Н. Северцев внес большой вклад в изучение основных путей достижения биологического прогресса. Были выявлены и описаны основные эволюционные направления и пути ее.

При объяснении внутренних причин эволюционного развития необходимо отметить следующее:

- наследственные свойства отчетливо проявляются и не исчезают в следующем поколении;
- наследственный материал сосредоточен в хромосомах ядра клетки, гены располагаются в линейном порядке в хромосомах и являются определенными участками молекулы ДНК;
- код наследственной информации представляет собой определенную последовательность нуклеотидов в молекуле ДНК и контролирует синтез специфических белковых молекул;
- генетическая информация определяет ход морфогенетических процессов в онтогенезе организма, на это оказывает существенное влияние окружающая среда; сформированный фенотип рассматривается как результат генетической основы и влияния внешней среды;
- всевозможные варианты фенотипа являются нормой реакции модификационной изменчивости;
- истинные наследственные свойства или изменения — мутационные изменения, происходящие на геномном, хромосомном и генном уровнях, эти изменения являются случайными событиями;
- направленное изменение структуры генофонда можно назвать эволюцией; основная движущая сила эволюции — естественный отбор;
- отбор влияет на фенотип, характеризующийся нормой реакции по отдельным признакам;
- сохраняются аллельные гены в гомологических хромосомах генофонда родственных видов;
- модификационная изменчивость — это изменчивость вида для приспособления к условиям окружающей среды.

**Проверьте свои знания:**

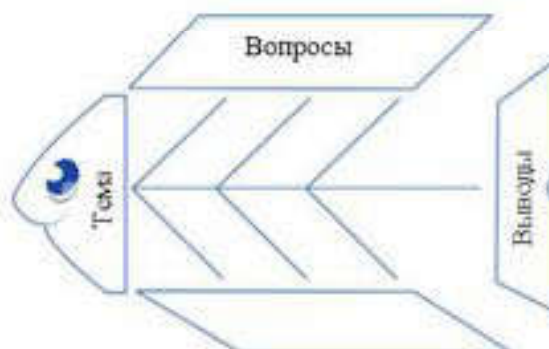
1. Что такое *микроэволюция*?
2. Чем отличается *макроэволюция* от микроэволюции?
3. Кто из ученых ввел термин *микроэволюция*?



4. Кому из ученых принадлежит термин *макроэволюция*?
5. Какие концепции, объясняющие эволюционное развитие, вы знаете?



Используя метод Фишбоун, сделайте выводы, что наследственная изменчивость — основа эволюции.

**§ 83. КОМБИНАТИВНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ, МУТАЦИИ****Сегодня на уроке вы:**

- изучите комбинативную изменчивость, мутации;
- научитесь анализировать факторы, влияющие на процесс эволюции.

Знаете ли вы?

- Что означает ненаследственная изменчивость?

Изменчивость так же, как и наследственность, присуща всем живым организмам. **Изменчивость** — это изменения признаков и свойств организма под воздействием различных факторов внешней среды, в связи с чем организм приобретает новые качества или теряет некоторые свои свойства. Есть два вида изменчивости: 1) фенотипическая, или ненаследственная изменчивость; к ней относятся модификационная изменчивость; 2) генотипическая, или наследственная изменчивость; к ней относятся мутационная и комбинативная изменчивости.

Ключевые понятия:

- *мутационная изменчивость*
- *комбинативная изменчивость*

Мутационная изменчивость — это случайная изменчивость, связанная с изменением структуры генов и хромосом; комбинативная изменчивость — изменчивость, не связанная с изменениями структуры генов и хромосом, она возникает в мейозе при конъюгации в результате кроссинговера.

Значение и биологические особенности мутационной изменчивости: мутации появляются случайно; на появление мутаций влияют определенные мутагенные факторы; мутационная изменчивость повышает генетическое разнообразие, ее можно широко использовать в сельском хозяйстве. Так, например, в сельскохозяйственных растениях 80% составляют полиплоиды.

Комбинативная изменчивость возникает в результате рекомбинации хромосом в процессе мейоза стадии профазы I, при независимом расхождении гомологичных хромосом и слиянии случайных гамет при оплодотворении. Причинами комбинативной изменчивости являются эти три независимых друг от друга случая, что позволяет осуществить образование различных генотипов. Также редки случаи, когда в одной семье дети были бы зеркальным отражением друг друга: они никогда полностью не похожи на одного из родителей, некоторые признаки схожи с отцом, по другим признакам схожи с матерью. При этом типе изменчивости сами гены не изменяются. Во время полового размножения комбинации родительских генов ведут к образованию новых признаков и свойств организма. Сочетание наследственных генов не всегда эффективно и полезно. В этом случае в процессе естественного отбора особи с неблагоприятными признаками погибают.

Закон гомологических рядов наследственной изменчивости. Русский генетик Н. И. Вавилов, изучая мутационную изменчивость у культурных и диких растений, пришел к выводу, что она протекает у генетически близких видов и родов параллельно. В результате этого у разных форм возникают сходные мутации, которые Вавилов назвал гомологическими рядами наследственной изменчивости. Это позволило ему сформулировать закон, названный законом гомологических

рядов: виды и роды близкородственные обладают одинаковыми признаками в наследственной изменчивости.



Николай Иванович
Вавилов (1887—1943)

Например, установлено, что у зерновых культур — пшеницы, ячменя, овса, кукурузы, риса и проса — форма и цвет зерен, сроки размножения, роста, созревания, морозостойкость и другие ряды наследственной изменчивости аналогичны по свойствам. Зная наследственную изменчивость одного вида, можно предсказать наследственную изменчивость сходных с ним организмов. Закон гомологических рядов наследственной изменчивости широко применяется в селекции.

Например, Н. И. Вавилов в ходе рабочей поездки в Абиссинию открыл безостые виды твердой пшеницы. Впоследствии известный селекционер А. П. Шехурдин на их основе вывел безостые сорта мягкой пшеницы. Гомологические ряды в наследственной изменчивости встречаются и у животных. Например, альбиносы (отсутствие пигмента) встречаются среди кроликов, морских свинок и всех других грызунов; короткопалость встречается у собак, овец и у человека. У различных микроорганизмов также обнаружены аналогичные наследственные биохимические изменения.

В селекции, в зависимости от цели работ, для отбора новой комбинации генов скрещивают организмы с ценными признаками. Например, казахский архар-меринос был получен от скрещивания тонкорунных овец и дикого козла архара. От архара он унаследовал крепкую конституцию костей, устойчивость к низким температурам, отличную приспособленность к использованию высокогорных пастбищ, а от овец — качество шерсти и мяса.

Разнообразные генотипы организмов образуются в результате полового размножения. Различное состояние генотипа организмов связано с наличием в них различных комбинаций генов. Комбинативная изменчивость — явление случайное, которое тоже является материалом для эволюции.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *изменчивость*? Назовите ее виды.
2. Сформулируйте закон *гомологических рядов в наследственной изменчивости*.
3. Расскажите о трудах Н. И. Вавилова.



4. Охарактеризуйте *комбинативную изменчивость*.
5. В каких случаях возникает комбинативная изменчивость?



Заполните таблицу в тетради.

Изменчивость	Характеристика
Мутационная изменчивость	
Комбинативная изменчивость	



Выскажите свое мнение: характерны ли для человека данные виды изменчивости?

§84. ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР. БОРЬБА ЗА СУЩЕСТВОВАНИЕ

Сегодня на уроке вы:

- изучите естественный отбор и борьбу за существование;
- научитесь анализировать факторы, влияющие на процесс эволюции.

Знаете ли вы?

- Какая эволюционная сила способствует плодовитому потомству, хорошей адаптации в определенных условиях и носит направленный характер?

Ключевые понятия:

- *естественный отбор*
- *межвидовая борьба*
- *внутривидовая борьба*

В природе происходит постоянный отбор. Полезные признаки сохраняются под влиянием определенных факторов, а другие исчезают. В связи с этим Ч. Дарвин изучал размножение организмов и пришел к выводу, что чем многочисленнее

вид, тем быстрее он развивается, что является важным “инструментом” в сохранении вида.

Естественный отбор — это движущая сила эволюции, способствующая организмам производить потомство, выживать и адаптироваться к определенной среде. Таким образом, если в природе происходит гибель некоторых особей вида, то другие, наоборот, размножаются и развиваются далее. Ч. Дарвин назвал это *выживанием наиболее приспособленных*.

Естественный отбор происходит непрерывно на протяжении нескольких поколений. В результате отбора формируются новые виды, приспособленные к определенным условиям окружающей среды. Для того чтобы выжить, в природе непрерывно происходит борьба за существование. Борьба за выживание представляет собой совокупность сложных взаимоотношений между организмами и условиями среды.

Формы борьбы за существование. Ч. Дарвин выделил три формы борьбы за существование: *межвидовую, внутривидовую и борьбу с неблагоприятными условиями окружающей среды.*

Межвидовая борьба происходит между особями разных видов (рис. 152): а) хищническая конкуренция; например, волки и лисы охотятся за зайцами, поэтому между ними возникает конкуренция за пищу. Каждый хищник выживает за счет другого животного.

Растения, относящиеся к разным видам, конкурируют за свет, влагу и питательные вещества. Только пробившийся через почву росток будет расти и конкурировать (рис. 154). Более сильные особи затеяют более слабые, их корни глубже проникают в почву, лучше используют влагу

и питательные вещества; б) конкуренция в условиях паразитизма. Например, произрастающие в густых лесах обвивающие и опирающиеся на деревья виды растений (лианы). Так как цепляющиеся стебли длинные, тонкие и слабые, то они, подобно змее, обвиваются вокруг дерева и растут. Достигая макушки дерева, они переходят на другие деревья и, словно паутина, обвивают и их. Обвивающие стебли душат деревья, замедляют у них движение питательных веществ, и дерево засыхает. Лианы же продолжают расти. Такие лианы растут в основном в тропических лесах.

Внутривидовая борьба — эта форма борьбы возникает между особями одного вида (рис. 153). В качестве примера можно взять борьбу между оленями в период размножения, конкуренцию за свет в сосновых или еловых лесах. Эта форма борьбы очень сложная. Она приводит к выживанию наиболее приспособленных. В действительности у многих млекопитающих этот вид борьбы начинается до рождения. У животных, которые дают многочисленное потомство (мыши, собаки), в одном помете имеются разные по весу и размеру особи. Это доказывает то, что уже на стадии плода идет конкуренция за питательные вещества, которые поступают из материнского организма.

Внутривидовая борьба осуществляется в трех направлениях: борьба за пищу, борьба за полового партнера, борьба за территорию.

У растений борьба за полового партнера, особенно у самоопыляющихся, происходит условно. Все виды внутривидовой и межвидовой борьбы можно подразделить на прямые и косвенные. В случае прямой конкуренции столкновения открытые. Например, у многих видов животных самцы борются за обладание самками. В косвенной борьбе нет открытого столкновения. Например, некоторые самцы птиц конкурируют посредством пения или издавая какие-либо звуки. Во время гнездования у птиц также нет открытого конфликта. Однако самые быстрые, т. е. раньше вернувшиеся с зимовки, считаются более конкурентоспособными. Существует много примеров кос-



Рис. 152. Борьба за существование



Рис. 153. Внутривидовая борьба



Рис. 154. Борьба за существование

венной конкуренции у растений. Например, растения, производящие более легкую пыльцу для опыления ветром, вытесняют родственные виды растений с малым количеством пыльцы. Также и насекомые несут больше пыльцы к тем цветкам, которые их больше привлекают.

Борьба с неблагоприятными условиями окружающей среды — борьба с неживой природой. Этот тип борьбы довольно сложный и связан с разнообразными взаимо-

действиями организмов с окружающей средой. Например, борьба при стихийных бедствиях, наводнениях, раннем похолодании, продолжительном снегопаде, выхлопными газами, адаптация к суточным колебаниям температуры в горных районах и т. д.

В процессе борьбы за существование справедливо следующее:

- особи, приспособленные к средним условиям среды, остаются живыми и оставляют потомство;
- внутривидовая борьба проходит острее, а две другие формы часто усиливаются; не все особи с неблагоприятными признаками исчезнут;
- в результате случая некоторые из них все равно выживут и оставят меньшее потомство;
- борьба за существование приведет к естественному отбору.

Таким образом, Ч. Дарвин уделял особое внимание отбору, полностью изучая типы отбора и причины их.



Проверьте свои знания:



1. Расскажите о борьбе между животными за место обитания.
2. Приведите примеры различных растительных культур, которые растут хорошо и плохо.
3. В чем заключаются взаимоотношения между насекомыми и птицами?
4. О чем говорит изменение листьев в форму иголок у пустынных растений?
5. Каким образом проявляется борьба птиц за места гнездования?
6. Чем можно объяснить образование очень сочных листьев у растений?
7. В чем заключается неравномерное развитие у луговых растений?
8. В чем заключается неравномерный рост деревьев в зависимости от условий внешней среды?
9. Чем можно объяснить выделение растением неприятного запаха?
10. Каковы взаимоотношения между хищником и жертвой?



Найдите соответствия.

1. Межвидовая борьба	а) происходит между особями одного вида
	б) происходит между особями разных видов
2. Внутривидовая борьба	в) хищническая конкуренция
	г) конкуренция паразитическая
	д) борьба за пищу, свет, влажность, территорию
3. Борьба с условиями окружающей среды	е) борьба между самцами одного вида
	ж) сильный холод, мороз, наводнение
	з) низкая влажность в пустынной местности



Что вы видите на рисунках 1, 2, 3, 4? Выскажите свое мнение. Докажите свою точку зрения.



1



2



3



4

§ 85. ДРЕЙФ ГЕНОВ. ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ВОЛНЫ

Сегодня на уроке вы:

- изучите дрейф генов, популяционные волны;
- научитесь анализировать факторы, влияющие на процесс эволюции.

Знаете ли вы?

- Что такое популяционные волны?

Дрейф генов (движение) — это случайное ненаправленное изменение частот аллелей в малых популяциях.

Понимание численности популяции состоит не только в общем числе особей в популяции, а в числе особей, которые дают потомство и вносят вклад в генофонд следующего поколения.

Ключевые понятия:

- дрейф генов
- биологическая изоляция
- географическая изоляция
- этологическая изоляция
- популяционные волны

Популяция является основной эволюционной единицей вида. *Популяция* — это совокупность организмов одного вида, свободно скрещивающихся и длительное время обитающих на одной территории.

Каждая популяция характеризуется определенным числом особей, плотностью, численностью, соотношением по возрасту и половой принадлежности. Популяция самостоятельно развивается и является устойчивой системой, ориентированной на историческое развитие. Таким образом, популяция представляет собой группу особей, обладающих общим генофондом, обитающих на определенной территории и имеющих возможность свободно скрещиваться друг с другом и давать плодовитое поколение. Изоляция популяций — генетически закрытая замкнутая система. *Изоляция* — это невозможность свободного скрещивания между особями одного вида из-за различных естественных препятствий. Из исходных популяций, отделившихся в результате экологической или физиологической изоляции, образуются новые виды. Когда прекращается скрещивание особей с другими представителями этого вида, начинается *экологическая дивергенция*. Это может привести только к образованию нового вида. С биологической точки зрения, отсутствие способности скрещиваться связано с физиологическими, генетическими особенностями гамет и невозможностью воспроизводства потомства.

Выделяют три формы изоляции: биологическую, географическую и экологическую.

Биологическая изоляция приводит к нарушению свободного скрещивания между отдельными видами по анатомическим, физиологическим и этологическим причинам.

Анатомическая причина — это несоответствие в строении и функциях половых органов.

Физиологическая причина — различия в сроках периода размножения или разница в скорости созревания половых продуктов.

Этнологическая причина — различие в образе жизни и половом поведении, препятствующее скрещиванию.

Географическая изоляция — это когда популяции находятся на разных территориях вдали друг от друга и не имеют свободного взаимодействия за счет географических барьеров.

Экологическая изоляция — популяции живут на общей территории, но в различных местах обитания и поэтому друг с другом не встречаются.

В результате дрейфа генов в небольших популяциях обнаруживаются злокачественные аллели. Это называется *генетическим грузом*. В зависимости от изменений среды полезные гены в рекомбинациях такого генетического груза являются эволюционным фактором. Генофонд каждого последующего поколения данной популяции представляет собой

выборку из родительского поколения, давшего ему начало. Поэтому, даже если нет мутаций, отбора или влияния миграции, генетическая структура популяции может изменяться посредством выборочной ошибки. Такие колебания происходят в случаях, когда число скрещивающихся между собой особей уменьшается. Следовательно, эффект дрейфа генов часто наблюдается в малых популяциях.

Например, при воспроизведении 5000 потомков родительской популяции с частотой какого-либо аллеля $p = 0,50$ колебания концентрации этого аллеля во всех вариантах дочерних популяций в силу случайных причин (в отсутствие отбора по этому аллелю) не выйдут за пределы 0,48—0,52. Если же родительская популяция мала и воспроизводит 50 потомков, то размах случайных колебаний концентрации наблюдаемого аллеля составит 0,30—0,70.

В малой популяции ошибка выборки резко возрастает, и частота гена отклоняется в широких пределах. В конечном итоге это может привести к утрате ($p = 0$) или закреплению аллелей в гомозиготном состоянии у всех членов популяции ($p = 1$) вне связи с их приспособительной ценностью. Поэтому дрейф генов играет важную роль в формировании генофондов малочисленных групп организмов, изолированных от остальной части вида.

Показано изменение частоты гена в ряду поколений в малой популяции, состоящей из 10 особей (табл. 16).

Таблица 16

Отклонение частот генов в малой популяции ($n = 10$)

Ряд поколений	Наблюдаемое число особей			Частота генов		Кол-во ожидаемых особей		
	А	а	Аа	А	а	А	а	Аа
P	4	4	2	0,60	0,40	3,6	4,8	1,6
F ₁	4	5	1	0,65	0,35	4,2	4,6	1,2
F ₂	5	5	0	0,75	0,25	5,6	3,8	0,6
F ₃	5	4	1	0,70	0,30	4,9	4,2	0,9
F ₄	6	3	1	0,75	0,25	5,6	3,8	0,6
F ₅	5	5	0	0,75	0,25	5,6	3,8	0,6
F ₆	6	4	0	0,80	0,20	6,4	3,2	0,4
F ₇	8	2	0	0,90	0,10	8,1	1,8	0,01
F ₈	9	1	0	0,95	0,05	9	1	
F ₉	10	0	0	1,00	0,00	10		
F ₁₀	10	0	0	1,00	0,00	10		

Если изменения в результате дрейфа генов значительно уменьшают склонность популяции к адаптации, то такие популяции могут исчезнуть. Поэтому любые изменения, возникающие при случайном дрейфе генов, не могут быть сохранены.

В малых, изолированных популяциях случайные, ненаправленные изменения частоты аллелей обычно приводят к увеличению гомозиготности популяции в любом из аллелей. Причина уменьшения числа особей — результат близкородственных скрещиваний. Постепенно, если этот аллель должен быть устранен при отборе, вся популяция становится гомозиготной по гену aa . Популяции с низкой способностью к выживанию бесполезны.

В случае изменения условий места обитания имеющиеся вредные аллели или генотипы, например, возникновение aa гена, могут влиять на выживание последующего поколения.

Крайним проявлением дрейфа генов можно назвать появление совершенно новой популяции, которая образуется только от нескольких особей. Такие популяции появляются в результате иммиграции отдельных особей, и в ней не сохраняются многие гены первоначальной популяции. Этот процесс, по предложению Э. Майра, был назван *эффект основателя*, он может играть важную роль в эволюции. Как правило, дрейф генов уменьшает генетическую изменчивость популяции. В течение длительного времени в небольшой популяции уменьшается часть гетерозигот и увеличивается часть гомозигот.

Популяционные волны и их роль в эволюции. *Популяционные волны* — это изменение числа особей в популяции (рис. 155). Понятие “популяционные волны” было введено С. Четвериковым, и были названы им “волнами жизни”. Отклонения численности вызываются различными причинами. Например, количество хищников, паразитов и других особей может изменяться из-за природных явлений (землетрясение, сель, наводнения и паводки), а также посредством вмешательства человека. Главная роль популяционных волн в эволюции — увеличение материала для отбора. С увеличением числа особей, когда волны достигают предела, применяется выбор по фенотипам и генотипам.

Однако, когда волны находятся в точке упадка, наблюдается усиление борьбы за выживание, где выживают только наиболее приспособленные. В этом случае давление отбора очень велико. Поэтому, если эти

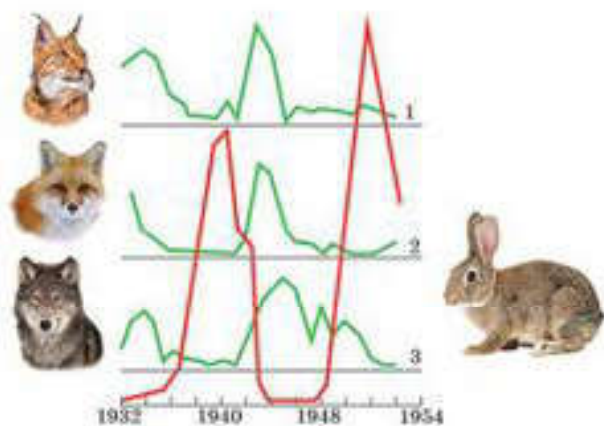


Рис. 155. Популяционная волна

гены не будут подавлены, появятся потомки наиболее сильных особей. Другая важная проблема, которая выражается в исследованиях популяционных волн, — это зависимость от числа экологических и эволюционных взаимоотношений видов. Например, хищники и их жертвы, паразиты и их хозяева, близкие виды, являющиеся конкурентами в пищевой цепи, и т. д.

**Проверьте свои знания:**

1. Что такое *дрейф генов*?
2. Охарактеризуйте *популяционные волны*.
3. Что такое *изоляция*? В каких случаях возникает изоляция?



4. Каковы особенности и важность географической и экологической изоляции?
5. Перечислите случайные, нерегулярные изменения частот аллелей в изолированных популяциях.
6. Перечислите факторы, приводящие к обособлению популяций одного вида.
7. Кто из ученых ввел понятие "популяционные волны"?



Ответьте на вопросы:

1. Кто ввел понятие "популяционные волны":
а) Д. Д. Ромашев; б) Н. П. Дубинин; в) С. С. Четвериков?
2. Сколько видов изоляции существует:
а) 3; б) 2; в) 4?
3. Разница во времени размножения и прорастания пыльцевой трубки:
а) анатомическая изоляция; б) антологическая изоляция;
в) физиологическая изоляция.
4. Случайное, неравномерное изменение частоты аллелей в малых изолированных популяциях:
а) популяционные волны; б) экологическая изоляция;
в) смещение генов.
5. Разделение популяций, обитающих в различных местах, но на общей территории:
а) биологическая изоляция; б) географическая изоляция;
в) экологическая изоляция.



Дополните предложения:

1. ... — это изменение числа особей популяции.
2. ...изоляция — барьер, препятствующий скрещиванию индивидуумов внутри вида.
3. ... — случайное изменение частот аллелей в небольших популяциях.

§ 86. ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЭВОЛЮЦИИ. СРАВНИТЕЛЬНО-АНАТОМИЧЕСКИЕ. ЭМБРИОЛОГИЧЕСКИЕ. ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ

Сегодня на уроке вы:

- изучите доказательства эволюции;
- научитесь анализировать доказательства эволюции.

Знаете ли вы?

- Как называется ряд последовательно сменяющихся этапов исторического развития вида?

Эволюционное учение Дарвина позволило открыть закономерности исторического развития органического мира и показать основные движущие силы. В первой половине XIX в. на развитие эволюционного

Ключевые понятия:

- эволюционные учения
- эмбриологические доказательства
- филогенез
- палеонтологические доказательства

учения повлияло развитие естественных наук и социально-экономических условий общества. С появлением микроскопа и открытием клеточной теории было доказано единство происхождения живых организмов. Эволюционная теория была дополнена методом тройного параллелизма Э. Геккеля, изучающим историческое развитие определенных родственных видов, т. е. использование методов сравнительной анатомии, палеонтологии и эмбриологии.

Сравнительно-анатомические доказательства. В первой половине XIX в. было собрано много доказательств единства органического мира. Самым главным стало сходство структуры и функций клеток эукариот, а именно: наличие в структуре одинаковых строительных компонентов, свойство универсальности генетического кода, однотипность структуры хромосом и процессов митоза и мейоза; а также сходство биохимических процессов энергетического обмена, т. е. живые организмы состоят из клеток, а структура, функция, химический состав клеток животных и растений одинаковы. Эти данные свидетельствуют о том, что все эукариоты на Земле имеют общего предка. Анатомические данные основаны на сравнении строения отдельных органов, а также всего организма. Исследование строения органов, наблюдение за усложнениями их структуры натолкнуло Ламарка на эволюционную идею. Он сравнивал нервную и кровеносную системы и наблюдал у животных непрерывное усложнение их организации от класса к классу, от типа к типу.

Известный французский зоолог Ж. Кювье установил единое строение в каждом типе животных. Например, все позвоночные животные имеют двустороннюю симметрию, полость тела, позвоночник, мозг, состоящий из пяти отделов и спинной мозг, две пары конечностей; строение и расположение внутренних органов и т. д. Все это свидетельствует о единстве происхождения. В зависимости от среды обитания возникают различные адаптации. Например: кроты приспособлены рыть землю, люди — работать, рыбы — плавать в воде.

Известный ученый Э. Жофруа Сент-Илер существование разницы в строении современных животных и ископаемых форм объяснил влиянием внутренних и внешних природных факторов, которые привели к изменению организма. К анатомическим доказательствам относится разделение органов на гомологичные и аналогичные. У покрытосеменных растений наличие в цветах чашелистиков и лепестков, а также пестиков и тычинок указывает на их генетическое родство. Кроме того, возникновение у растений видоизменений (видоизменения листьев и стеблей). Например, усики у гороха, колючки у кактуса, а также

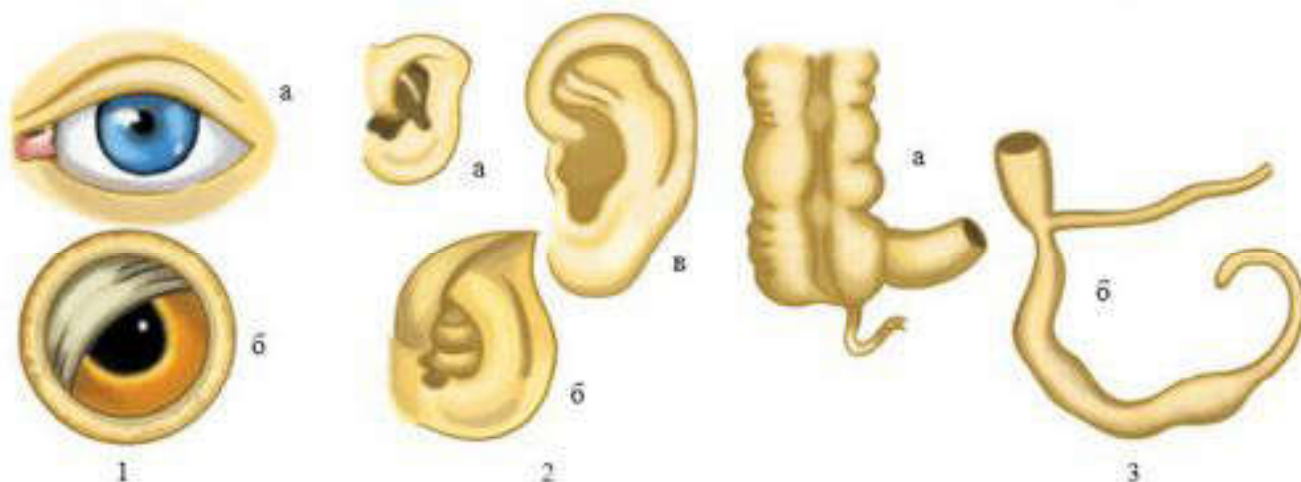


Рис. 156. Рудиментарные органы:

1 — третье веко у человека (а) у птиц (б); 2 — ушная раковина шестимесячного зародыша (а), обезьяны (б) и человека (в); 3 — слепая кишка у человека (а) и копытных животных (б)

корневища у хризантемы и сирени, клубни у картофеля и видоизменения листьев у лука. Таким образом, органы, соответствующие друг другу по строению и происхождению, называются *гомологичными органами*. У многих животных и растений, принадлежащих к разным системным группам, имеются органы, выполняющие одинаковые функции. Например, крылья у птиц, летучих мышей и бабочек. Однако у бабочки крылья — это вырост на спинной стороне грудного отдела, а крылья птиц и летучих мышей — это видоизменения передних конечностей. Органы, выполняющие сходные функции, но отличающиеся по строению и происхождению называются *аналогичными органами*. Доказательствами единства органического мира в историческом развитии являются рудименты, т. е. когда некоторые органы у взрослого организма утратили свое первоначальное значение и находятся в недоразвитом состоянии. Например, плечевой пояс конечностей у безногой ящерицы — веретеницы, задние конечности и тазовые кости кита, а также рудименты, обнаруженные у людей (рис. 156).

Еще одним подтверждением исторического развития органического мира являются признаки-атавизмы, т. е. признаки возврата, свойственные предкам, например, иногда у человека бывает многососковость и наличие хвоста (рис. 157).

Эмбриологические доказательства связаны с изучением стадии развития эмбриона у разных организмов (рис. 158). Исследования в этой области показывают, что



Рис. 157. Атавизмы

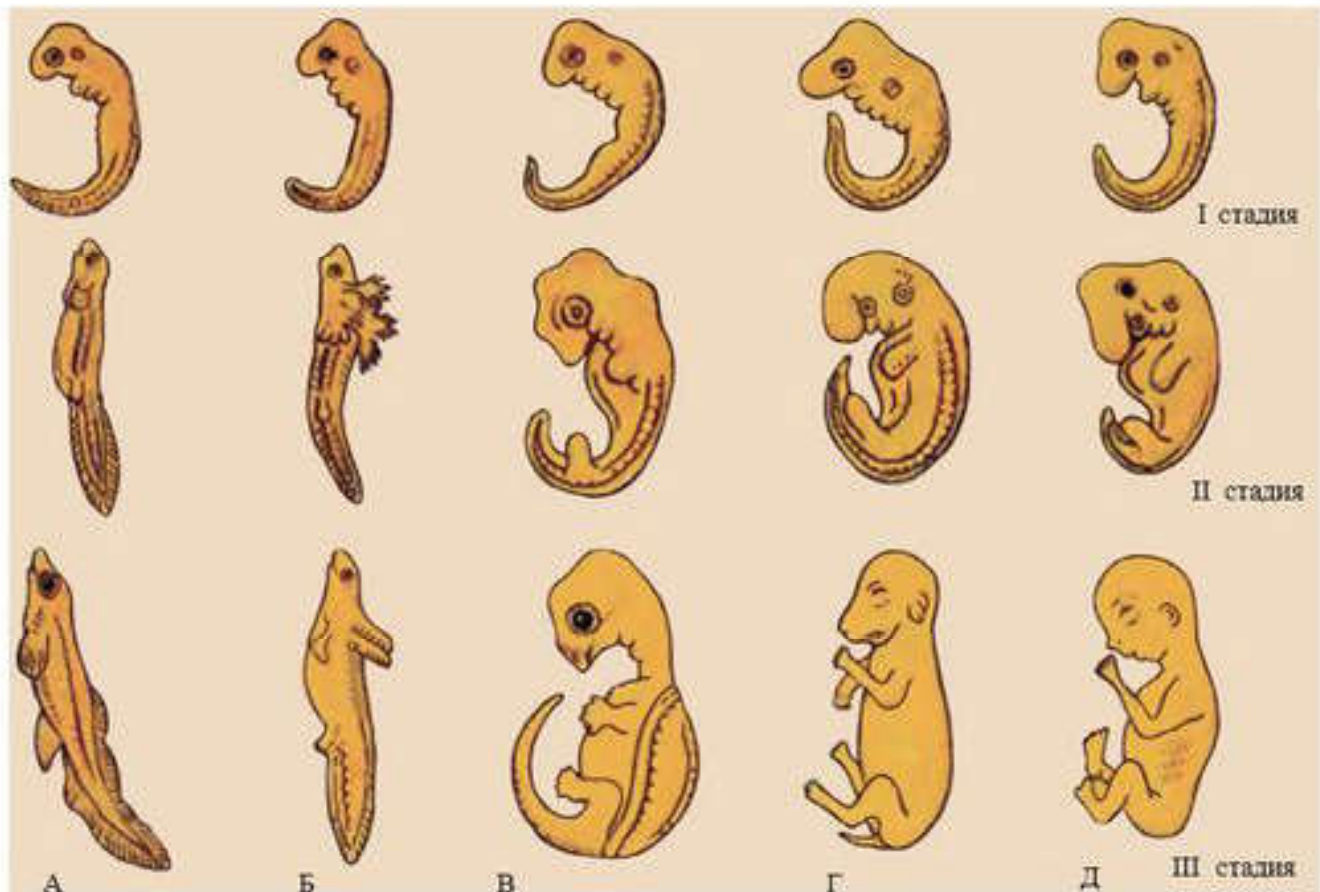


Рис. 158. Эволюция животного мира. Сходство зародышей позвоночных животных на ранней стадии развития.

А — рыба, Б — ящерица, В — черепаха, Г — мышь, Д — человек

“Все многоклеточные организмы развиваются из оплодотворенной яйцеклетки”. У всех позвоночных животных наблюдается существенное сходство зародышей на первых этапах развития эмбриона. Тело, голова, лицевой, хвостовой отделы, а на последующих этапах — формирование признаков, свойственных представителям каждого класса, отрядам внутри класса, родам, самим видам показаны на рисунке. Таким образом, общее строение тела одинаковое на стадии эмбриона по сравнению со взрослыми организмами. Все это доказывает единое происхождение всех позвоночных животных. В этом отношении К. Бэр сформулировал закон зародышевого сходства “Зародыши животных одного типа на ранних этапах развития сходны”.

Первое важное исследование было сделано Е. Геккелем и Ф. Мюллером. Они сформулировали биогенетический закон. В нем говорится: “Онтогенез — краткое и неполное повторение филогенеза”. *Онтогенез* — это индивидуальное развитие одного организма от рождения до смерти. *Филогенез* — это процесс исторического развития всех живых существ. Все живые существа начинают развитие с одной оплодотворенной яйцевой клетки — зиготы. Дробление зародыша — бластула, которая состоит из многочисленных бластомеров. Затем после образования зародышевых листков наступает стадия образования гастрюлы. На-

пример, это типично для кишечнополостных, и позже — плоских червей. В развитии человеческого зародыша наблюдается образование жаберных щелей, двухкамерного сердца, хрящевого скелета. После сердце начинает делиться на три части, а затем — на четыре части. Хрящевой скелет переходит в костный, однако кости бывают полыми. Мозг сначала представлен в пузырьчатой форме, потом он обособляется и разделяется на пять отделов. Постепенно передний мозг развивается и образует большие полушария головного мозга. После этого в мозжечке и на поверхности переднего мозга формируется кора.

Палеонтологические доказательства. Палеонтологией называется наука, изучающая ископаемые останки вымерших организмов. Сравнение и изучение ископаемых органических остатков в разное геологическое время дает нам представление и информацию о жизни. Палеонтологические доказательства основаны на ископаемых остатках мертвых организмов. В этой связи доказательства можно разделить на следующие две группы: переходные формы и филогенетический ряд. К переходным формам относятся организмы, сочетающие признаки двух основных систематических групп. К ним относятся не только мертвые, но и ныне живые организмы. Например, одноклеточная зеленая эвглена при отсутствии способности к фотосинтезу переходит к гетеротрофному питанию, т. к. является переходной формой между растениями и животными. Утконос и ехидна, имеющие клоаку, представляют собой переходные формы животных между рептилиями и млекопитающими. Найденное ископаемое — археоптерикс — полуящерница-полуптица. Эти древние вымершие птицы обитали на небольших деревьях или на поверхности земли. Родством с птицами являлось то, что они имели “оперение” и могли планировать с дерева на землю, а наличие когтей на крыльях делает их похожими на ящерниц.

Ребра располагаются не только в грудной области, но и по всему позвоночнику. У них было 20 хвостовых позвонков, состоящих из настоящих костей. Также у них имелось образование в виде клюва с зубами, но так как процесс развития челюстных костей не завершился, роговая оболочка клюва отсутствует. Нельзя считать, что все современные птицы произошли от этой древней птицы. Однако большинство исследователей утверждают, что именно эта древняя птица дала начало всем современным птицам.

На основе найденных раскопок и распределения в эволюционной системе можно представить предков современных животных. Открытия в области палеонтологии все еще продолжают, поэтому этот “ряд” постоянно пополняется. Тесная связь эволюционного процесса друг с другом исследует пути развития филогенеза. Термин *филогенетический ряд* относится к способности находить последовательность всех предков и используется, когда имеется полная информация. Например, в на-

стоящее время хорошо разработаны филогенетические ряды для человека и лошади. Этапы эволюционного развития лошади были изучены палеонтологом В. О. Ковалевским (1842—1883). Между ископаемыми и современными формами установлена большая схожесть. Эволюционное изменение видов лошадей наблюдалось в Северной Америке и Евразии, а некоторых видов — в Южной Америке.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *эмбриология*?
2. Что такое *рудименты* и *атавизмы*?
3. Назовите эмбриональные доказательства эволюции.



Как вы понимаете, что собой представляет филогенетический ряд?



Какой вид доказательства показан на рисунке? Объясните.



Человек

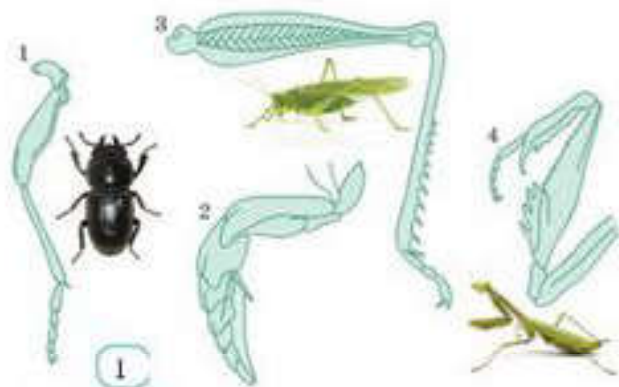
Шимпанзе

Лягушка



Расположите картинки по сходству:

Гомологичные органы	Аналогичные органы



1

Примеры аналогичных органов



Крылья птицы



Крылья бабочки



Крылья летучей мыши



2



Паразитиды одуванчика, крылатки клена



Костянки вишни



Желуди дуба



3 Клубень картофеля



Луковица шафрана

Примеры аналогичных органов



4 Иглы ежа



Иглы кактуса

§ 87. БИОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, БИОХИМИЧЕСКИЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЭВОЛЮЦИИ

Сегодня на уроке вы:

- изучите биогеографические, биохимические доказательства эволюции;
- научитесь анализировать доказательства эволюции.

Знаете ли вы?

- Чем отличаются ареальная биогеография, региональная биогеография, экологическая биогеография и историческая биогеография?

Биогеография (от греч. *bios* — “жизнь”, *geo* — “земля” и *grapho* — “пишу”) — отрасль науки, изучающая закономерности распространения и размещения живых организмов и их групп на планете, т. е. характер распространения и обитания растений и животных на Земле и их изолированных объединений.

В XVIII в. были заложены основы науки биогеографии. Ее развитию способствовали экспедиции, проведенные для исследования фауны и флоры того периода экваториальной Африки, Южной Америки, стран Азии — немецким ученым А. Гумбольдтом и английским ученым А. Уоллесом. Биогеография изучает биоценозы и географическое распространение организмов, а также рассматривает вопросы рационального использования их многообразия, миграцию, охрану и регулирование численности. Различают несколько направлений исследований по биогеографической отрасли: **ареалогическая биогеография** — определяет зоны распространения различных видов организмов на планете, изучает особенности их распространения в регионах, составляет карты; **региональная биогеография** изучает флору и фауну, в результате чего создается график биогеографического комплексного районирования материков и океанов.

Эти исследования позволяют определять популяции вредителей и полезных для сельского хозяйства организмов, организовывать меры борьбы, открывать возможности для охраны редких исчезающих видов.

Экологическая биогеография определяет роль географических групп организмов в биоценозах, их биологическую продуктивность и биомассу. **Историческая биогеография** изучает историю распространения организмов в конкретном регионе.

Для борьбы с инфекционными заболеваниями организмов и их возбудителями для работы по созданию новых сортов растений, ценных

Ключевые понятия:

- биогеография
- ареалогическая биогеография
- экологическая биогеография
- историческая биогеография
- биохимия

пород животных, работы по акклиматизации животных и растений, охране природы и рациональному использованию природных ресурсов, также важным является знание биографии.

Биогеографические доказательства эволюции. Пути развития эволюционных процессов и континентов Земли с населяющими их структурами флоры и фауны изучается в сравнении. В конце периода триаса произошло разделение Пангеи на два континента — Северную Лавразию и Южную Гондвану. Гондвана делится на Южную Америку и Африку. В конце юрского периода Лавразия начинает делиться на Северную Америку и Евразию. В связи с изменением условий жизнедеятельности организмы начинают адаптироваться к новой среде. Например, в недрах земли сохранились останки исчезнувших животных.

Изучение животного и растительного мира на различных материках земного шара, их развития дали сведения о ходе процесса эволюционного движения. Английский ученый А. Р. Уоллес отметил 6 биогеографических областей: 1) Неоарктическая; 2) Палеоарктическая; 3) Индо-Малайская; 4) Эфиопская; 5) Неотропическая; 6) Австралийская (рис. 159). В названных областях степень сходства и различия животного и растительного миров различны. В зависимости от исследований наиболее близкие друг к другу материка имеют больше родственных форм растительного и животного миров. Например, Южная Австралия отделилась от Азиаты 100 млн. лет назад. Поэтому в этом регионе сохранились виды растений и животных, не встречающиеся нигде больше (сумчатые млекопитающие, утконосы, древовидные папоротники).

Биохимия изучает химический состав организмов и происходящие изменения химического состава в процессе жизнедеятельности организма.



Рис. 159. Биогеографические области

Биохимия — химический язык живой природы, химия жизнедеятельности. В связи с этим выделяется несколько отраслей биохимии: биохимия человека, медицинская биохимия, биохимия растений, микроорганизмов, техническая, космическая, эволюционная и радиационная биохимия.

Доказательством эволюции развития организмов является исследование химической природы статических и динамических свойств организмов, природы исследуемого вещества в направлении его поступления в организм и образования конечных продуктов обмена, химические основы функциональных изменений органов, тканей и клеток, организма в целом является доказательством эволюционного развития.

Биохимические доказательства проводятся на основе изучения аминокислотного состава белков. У известных белков аминокислотный состав определен, и по степени их сходства говорится о степени родства. К этому также относится исследование реакций различных химических препаратов. С биохимической точки зрения у близкородственных организмов возможна пересадка тканей и органов. Также при болезни сахарным диабетом можно применять не только человеческий инсулин, но и свиной.

Все это доказывает родство биохимических процессов у групп организмов и указывает на сходство их генетики. Используя биохимические данные, вы можете определить, когда возникли определенные виды, т. е. определить начало дивергенции (расхождение в приобретении признаков). Таким образом, между видами, сходными в биохимическом отношении, могут быть значительные морфологические и физиологические различия.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *биогеография*?
2. Докажите связь между биогеографией и эволюцией.
3. Что изучает *биохимия*?



4. Докажите связь биохимии и эволюции.



В диаграмме Венна сделайте сравнение биохимической и биогеографической эволюций.

Биогеографическая

Биохимическая



§ 88. ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Сегодня на уроке вы:

- изучите этапы формирования жизни на Земле;
- научитесь описывать схему и этапы формирования жизни на Земле.

Знаете ли вы?

- Каково значение эр и периодов формирования жизни на Земле?

Ключевые понятия:

- витализм
- коацервация
- прокариоты
- эукариоты

Живые организмы можно сразу отличить от неживой природы по их основным свойствам. Основными показателями живых организмов являются: однородность химического состава, обмен веществ и метаболизм, сходство структурного уровня, размножение, наследственность, изменчивость, рост

и развитие, раздражительность, дискретность (прерывность), саморегуляция, ритмичность.

Предпосылки возникновения жизни на Земле. Согласно научным данным, Земля, принадлежащая Солнечной системе, эволюционировала с 4,5 до 5 млрд. лет назад из газопылевой туманности. Это газопылевое вещество в настоящее время присутствует в межзвездном пространстве. Для возникновения жизни на Земле необходимы некоторые космические и планетарные условия. Необходимыми условиями для возникновения жизни на Земле является определенный объем планеты, достаточное количество энергии и температурные условия. Научно было доказано, что эти предпосылки существовали только для планеты Земля. Вопрос возникновения жизни на Земле — один из наиболее актуальных и интересных. Об этом имеется много предположений и мнений.

Взгляды и теории о происхождении жизни в древности. В древности из-за отсутствия научных данных о происхождении жизни существовали различные взгляды. Древнегреческий философ Аристотель (IV в. до н. э.) придерживался идеи о том, что из мяса возникали вши, из сока животных — клопы, из глины — черви. Основатель греческой философии Фалес искал основу органического мира в различных веществах окружающей среды. Он считал, что таким веществом была вода, и все остальное само по себе возникло из воды. В средние века имели место различные представления о происхождении жизни. До середины XVII в. было много сторонников идеи самозарождения жизни из неживой природы. Позднее, в связи с открытием микроскопа, были уточнены данные о структуре организмов. С этого времени стали проводиться эксперименты, которые поставили под сомнения идею о про-

исхождении жизни из неживой природы. Для познания тайн жизни английский философ Ф. Бэкон (1561—1626) предложил проведение исследований в виде наблюдений и экспериментов. С этим предложением он отрицал любые религиозные убеждения. Взгляды ученого о получении и сравнении экспериментальных данных оказали особое влияние на развитие естествознания.

В 1668 г. итальянский врач Франческо Реди поставил опыт и выступил против теории самопроизвольного зарождения. Он поместил в четыре миски мясо и оставил их открытыми, а другие четыре миски накрыл марлей. В открытых сосудах, из яиц, отложенных мухами, вывелись личинки. В закрытых мисках, куда мухи не смогли проникнуть, личинки не появились. В результате этого опыта Ф. Реди доказал, что мухи выводятся из яиц, отложенных мухами, а не саморождаются. В 1775 г. М. М. Тереховский проводил опыт, где он вскипятил бульон и плотно закрыл его крышкой, позже никаких изменений в нем не наблюдал. Второй сосуд он оставил открытым и обнаружил, что через несколько суток бульон испортился. Согласно представлениям этих ученых, живое возникает из неживого под действием сверхъестественных “жизненных сил”. В закрытый сосуд “жизненная сила” проникнуть не может, а при кипячении она погибает. Такие взгляды получили название *виталистических* (с лат. *vitalis* — “живой, жизненный”).

Жизнь вечна, она широко распространена в космосе. В начале XX в. шведский ученый С. Аррениус поддержал идею *панспермии*. Согласно этой гипотезе, “Рассеянные в космическом пространстве зародыши жизни переносятся с одного небесного тела на другое под действием давления света”. Сторонники этой идеи также считали, что жизнь могла проникнуть на Землю через метеориты.

Теория вечности жизни на Земле была предложена в 1880 г. немецким ученым В. Прейером. Эти взгляды также поддерживал выдающийся русский ученый В.И. Вернадский. Эта теория гласит о том, что “между живой и неживой природой никакой разницы нет”. Концепция теории происхождения жизни напрямую связана с глубоким изучением и расширением данных о живых организмах. В этом отношении немецкий ученый Э. Пфлюгер (1875) считал важным изучение происхождения белковых веществ. Он придавал особое значение белку как основной составной части цитоплазмы, пытаясь объяснить возникновение жизни с материалистической точки зрения. Тот факт, что жизнь не возникает самопроизвольно, в середине XIX в. доказал Л. Пастер. Он показал простой опыт: налил бульон в колбу с S-образной трубкой и прокипятил. В течение нескольких месяцев бульон в колбе оставался стерильным, потому что микроорганизмы из воздуха не могли туда попасть. Но если трубку сбить, бульон становится мутным, так как микроорганизмы свободно проникают в колбу.

Русский ученый А. И. Опарин в 1924 г. и английский ученый Дж. Холдейн в 1929 г. предложили гипотезу о том, что материя впервые возникла в результате длительного развития первичного океана. По их мнению, появление жизни обусловлено образованием многих химических соединений, их полимеризацией в более сложные агрегаты и т. д. Эта гипотеза породила многие взгляды на происхождение Земли.

Этапы формирования жизни:

1-й этап. Абиогенный синтез белковых веществ в водах первичного океана. Используя в качестве источника энергии молнию, ультрафиолетовые и солнечные излучения в химических реакциях в результате высокой температуры образовались молекулы белков, углеводов, жиров и аминокислот. Поскольку в первичном океане содержались все химические элементы, из которых состоят эти вещества, А. И. Опарин описал этот этап развития как “первичный бульон”.

2-й этап. Процесс коацервации — накопленные вещества собираются в капли коацерваты. Из-за свойства жиров не растворяться в молекулах с различными зарядами образовывался молекулярный комплекс белковых тел, которые обволакивались жирами, структура которых напоминала клеточную мембрану.

3-й этап. Эволюция коацерватов, проявление свойств живого. Коацерваты в океанах “росли”, присоединяя белки, жиры, углеводы, достигая определенного объема, делились и образовывали новые капли.

4-й этап. Появление первичных прокариотических клеток — А. И. Опарин говорил, что “Путь, пройденный природой от протобионтов до наиболее примитивных бактерий, ничуть не короче, чем путь, пройденный от амебы до человека”. Это был неопределенный и сложный период в формировании жизни. Возникли первые настоящие живые организмы — прокариотические (безъядерные) клетки. После этого возникли простейшие формы цианобактерий, которые обладали процессом фотосинтеза, затем появились многоклеточные гетеротрофные организмы.

5-й этап. Появление эукариот. Возникновение эукариотических (ядерных) клеток, многоклеточность и разделение на царства живых организмов — в результате теории эндосимбиоза. Образование эукариот, а впоследствии, в зависимости от источника энергии, начинается процесс разделения эукариот на растения и животных. Наряду с этим у некоторых эукариот происходит объединение цитоплазмы для увеличения форм. В результате этого появляются многоклеточные организмы.

Таким образом, жизнь — это открытая система живых организмов, состоящая из сложных биологических полимеров белков и нуклеиновых кислот, саморегулирующаяся и оставляющая за собой последующие поколения.

эволюционно развитый объект, например, домен белка). Каждый узел описывает эволюционную ситуацию: вид дивергирует на два или более видов, которые в будущем независимо эволюционируют. Корень является прародителем всех видов. Ребра филогенетического дерева принято называть “ветвями”. Идея “дерева” появилась в ранних взглядах на жизнь как на процесс развития от простых форм к сложным.

Типы филогенетических деревьев. *Укорененное дерево* — дерево, содержащее особенную вершину — корень. Укорененное дерево можно считать ориентированным графом, поскольку имеется естественная ориентация — от корней к листьям. Каждый узел укорененного дерева отвечает последнему общему предку нижележащих листьев дерева.

Неукорененное дерево не имеет корня и отражает связь листьев без предполагаемого положения общего предка. Необходимость рассматривать неукорененные деревья возникает в связи с тем, что часто связи между узлами восстановить легче, чем направление эволюции.

Наиболее достоверным методом для превращения неукорененного дерева в укорененное является использование “внешней группы” видов, т. е. достаточно близких к интересующему нас набору видов. Если изучаемые объекты естественные (содержание белков и т. д.), опираясь на дополнительные данные, можно в определенное время легко предсказать корень.

Укорененное и неукорененное филогенетическое дерево может быть бифуркационным или небифуркационным, а также маркированным или немаркированным. В *бифуркационном* дереве к каждому узлу подходят ровно три ветви. Таким образом, бифуркационное дерево предполагает, что все эволюционные события состояли в происхождении от предкового

Схема 8



объекта ровно двух потомков. К узлу *небифуркационного* дерева могут подходить 4 или более ветви. *Маркированное* дерево содержит названия листьев, тогда как *немаркированное* просто отражает топологию.

Термины, связанные с эволюционным деревом:

Дендрограмма — общий термин, обозначающий схематическое представление филогенетического дерева.

Хронограмма — филограмма длины ветвей, в которой представляют эволюционное время.

Филограмма (или *фенограмма*) — филогенетическое дерево, содержащее информацию о длинах ветвей; эти длины представляют изменение некоей характеристики, например, число мутаций в каком-либо гене.

Кладограмма — филогенетическое дерево, не содержащее информацию о длине ветвей. Кладограмма — основное понятие в современной биологической систематике, показывающее отношение сестринского родства между таксонами.

Кладограмма состоит из *терминальных групп* — это группы, расположенные на концах ветвей, *ноды* — узлы, или развилки, *интерноды* — линии, соединяющие узлы. Информационное содержание кладограммы определяется порядком ветвления.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *филогенетическое дерево*?
2. Опишите типы филогенетических деревьев.
3. Перечислите термины, связанные с эволюционным деревом.
4. Что такое *кладограмма*?



Подготовьте мини-проект по теме параграфа.

§ 90. ПОНЯТИЕ “ПОСЛЕДНИЙ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ОБЩИЙ ПРЕДОК”

Сегодня на уроке вы:

- изучите понятие о “последнем универсальном общем предке”;
- научитесь составлять и интерпретировать филогенетические карты (кладограммы и филогенетические деревья).

Знаете ли вы?

- Как называют общего предка в современных теориях?

Последний универсальный предок (с англ. *last universal common ancestor*; *LUCA*) — последний общий предок, популяция организмов,

Ключевые понятия:

- генетический источник информации
- генетический код
- генетическая информация

от которой произошли все организмы, живущие ныне на Земле. Они жили 3,5—3,8 млрд. лет назад в палеоархейской эре.

Последнего универсального предка нельзя путать с живыми организмами, которые первыми возникли на поверхности Земли. Ископаемые останки LUCA не сохранились, поэтому их можно изучать только путем

сравнения генома. По этому методу в 2016 г. был определен набор из 355 генов, встречающихся у LUCA (схема 8).

Теория последнего универсального общего предка была впервые предложена в 1859 г. Чарльзом Дарвином в его книге «Происхождение видов». На основе анализа рРНК была показана связь кладограммы бактерий и эукариот с последним универсальным предком.

Структура, свойства по исследованиям LUCA:

- Очень маленький одноклеточный организм с кольцевой ДНК, который может свободно перемещаться в клетках как современные бактерии.

- Генетический источник информации основан на ДНК: ДНК состоит из четырех нуклеотидов, которые соответствуют названию азотистых оснований: адениловый, гуаниловый, тимидиловый, цитидиловый.

- Генетический код — это последовательность трех нуклеотидов, составляющих 64 разных триплета. Поскольку он кодирует 20 аминокислот, возможно определение одних и тех же аминокислот разными кодонами. Такое сходство случайное и встречается как у эукариот, так и у прокариот. ДНК на основе ДНК-полимеразы состоит из двух цепей. Целостность ДНК поддерживается различными ферментами — топоизомеразой, ДНК-лигазой и связанными белками гистонами.

- Генетическая информация выражается через одноцепочную промежуточную РНК. РНК с участием РНК-полимеразы синтезируется на ДНК.

- Следующая генетическая информация будет отражена в белках. Все остальные работы организма выполняются в результате белковых ферментов. Белки образуются в рибосоме путем трансляции мРНК с участием тРНК.

- Рибосома состоит из двух частей (большой и малой). Молекулы РНК в рибосоме проявляют каталитические свойства.

- Глюкоза используется как источник энергии. Для этой цели используются D-изомеры.

- Гликолиз сопровождается разложением.

- АТФ выполняет функцию носителя энергии.

- Клетка грамотрицательных бактерий состоит из двух типов мембран.

- Концентрация натрия в клетках низкая, а калия — высокая.

- Клетка размножается путем деления на две части.

**Проверьте свои знания:**

1. Что такое "последний универсальный предок"?
2. Что является источником генетической информации?
3. Какое строение имеет генетический код?



Как вы понимаете выражение "генетический код един и универсален".



Подготовьте сообщение и электронную презентацию по теме параграфа.

§91. МОДЕЛИРОВАНИЕ "СОСТАВЛЕНИЕ КЛАДОГРАММ"**Сегодня на уроке вы:**

- изучите построение эволюционного дерева;
- научитесь составлять кладограммы.

Знаете ли вы?

- Как составляется филогенетическое дерево? Какие критерии необходимы для этого?

Построение эволюционного дерева. Филогенетическое дерево, как правило, строится из последовательностей белка и нуклеиновых кислот (ДНК и РНК). Деревья создаются с использованием специальных вычислительных алгоритмов.

Ключевые понятия:

- эволюционное дерево
- кладограмма

Методы построения эволюционных деревьев могут быть оценены по нескольким основным критериям:

- эффективность (сколько времени и памяти требуется для вычислений);
- производительность (есть ли польза от полученных данных или информация бесполезна);
- постоянство (будут ли повторные ответы такими же, если каждый раз даются разные данные для той же проблемной модели);
- реакция на ошибки (справляются ли с нарушениями в предположениях рассматриваемой модели);
- выдача предупреждений (будет ли предупреждение, когда предположения неверные).

Благодаря филогенезу всех живых организмов или родословной их потомков можно узнать родственные формы и то, как проходила их эволюция.

Методы построения эволюционного дерева: матричные алгоритмы, метод ближайших соседей, филогенетический древо-кладический метод, оценка длины ребер, нахождение корня неукорененного дерева, оценка времени дивергенции видов.

Поэтапное построение кладограммы — матрица рассчитывается и записывается для каждого таксона, принятого во внимание, и сравнивается с другими таксонами. Буквенные таксоны на матрице представляют собой коэффициент общего сходства видов друг с другом на основе всех измеренных признаков.

Крыша эволюционного дерева состоит из трех частей: листа, узла и корня. Каждый лист показывает вид живого организма, каждый узел описывает эволюционную ситуацию.

Кладограмма — это филогенетическое дерево, которое не содержит информации о длине ветвей.

Например, построением кладограммы можно получить генеалогию казахского народа.

Посредством родословной мы можем получить много информации об этнических структурах, происхождении, распределении и целостности населения. Слово “родословная” определяет понятие “сохранение”, “ветвь дерева”. Родословная стала необходимостью кочевого общества, рожденной на основе традиций и обычаев кочевников. Среди народа были люди, которые хорошо знали историю жизни. Они хорошо знали традиции, обычаи, идущие от предков, солнечные и лунные расчеты, легенды и псалмы. Ученые, исследовавшие казахскую историю, в качестве основного источника данных использовали родословные. В родословных лежат легенды и истины, сказки и мифы, искусство и наука. В этом отношении мы рассматриваем традиционную казахскую культуру и родословную в целом.



Проверьте свои знания:



1. Назовите критерии построения эволюционного дерева.
2. Какие методы используются для построения эволюционного дерева?
3. Назовите критерии устойчивости при построении эволюционного дерева.
4. Что значит поэтапное построение кладограммы?
5. В чем разница между эволюционным деревом и кладограммой?



Постройте филогенетическое дерево на примере семи поколений своих предков.

§92. РАЗЛИЧНЫЕ ФОРМЫ ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИХ КАРТ. ОТЛИЧИЯ КЛАДОГРАММ И ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИХ ДЕРЕВЬЕВ

Сегодня на уроке вы:

- изучите различные формы филогенетических карт;
- научитесь сравнивать принципы различных форм филогенетических карт (кладограммы, филогенетические деревья).

Знаете ли вы?

- Каким критериям соответствует составление эволюционного дерева?

Систематика — раздел науки биологии, изучающий разнообразие организмов и взаимосвязь между различными группами организмов, а также выявляющий закономерности этих взаимоотношений.

В начале XXI в. систематизированные эволюционные черты были сформированы филогенетическими, или кладистическими, либо фенетическими или количественными направлениями.

На данный момент существуют *три направления систематики: эволюционная систематика, филогенетическая систематика и фенетическая систематика.*

Филогенетическая систематика — это определение принадлежности к таксономической категории, основанное на закономерностях исторического развития групп организмов, без учета эволюционного развития отдельных групп организмов.

Фенетическая систематика — математическая обработка разнообразных признаков организма при возникновении трудностей исследования с генетической точки зрения или при невозможности исследования форм и видов.

Применение современных методов исследования, а также результаты фундаментальных исследований популяции видов позволили дальнейшее развитие систематики, подняв ее на новый уровень.

Эволюционная и филогенетическая систематики основаны на сходстве отдельных признаков и внешних форм. Диаграммная форма — эволюционное дерево и кладограмма. *Эволюционная систематика* определяется количеством признаков и учитывает направление эволюционного развития какой-либо группы. Филогенетическая систематика характеризуется наличием общих признаков и не учитывает направление эволюционного развития отдельных групп.

Ключевые понятия:

- систематика
- филогенетическая систематика
- фенетическая систематика
- эволюционная систематика
- эволюционное дерево

Составление эволюционного дерева. Филогенетическое дерево строится согласно последовательностям белков и нуклеиновых кислот (ДНК и РНК). Деревья разрабатываются с использованием специальных вычислительных алгоритмов.

Филогенетическое дерево (эволюционное дерево, дерево жизни) — дерево, отражающее эволюционные взаимосвязи между различными видами или другими объектами живой природы, имеющими общего предка.

Узлы делятся на терминальные узлы и внутренние узлы. Терминальный узел показывает последовательность генов через выявленные данные умерших и живых организмов. Внутренний узел показывает возможные роды организмов. Узлы и ветви филогенетического дерева содержат различную информацию. Ветви внутреннего узла по количеству разветвлений называются политомными.

Существуют два вида политомных разветвлений. Сложное политомное разветвление показывает происхождение всех видов организмов в одно время из одного рода. Простое политомное разветвление свидетельствует о происхождении всех видов организмов (не обязательно в одно время) из разного рода.

К основным терминам филогенетического дерева относятся монофилия, полифилия, парафилия. Монофилия (семья) — происхождение поколений организмов из одного рода. Полифилия — происхождение поколений организмов из разного рода. Парафилия — происхождение большинства поколений организмов из одного рода, а некоторых — из разного рода.



Проверьте свои знания:



1. Дайте определение филогенетической и фенетической классификациям. Каковы правила составления эволюционного дерева?

2. Какие критерии метода построения эволюционного дерева вы знаете?



3. В чем отличие между кладограммой и филогенетическим деревом?

§ 93. ЭВОЛЮЦИОННОЕ ЗНАЧЕНИЕ КЛАДОГРАММ И ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИХ ДЕРЕВЬЕВ

Сегодня на уроке вы:

- изучите эволюционное значение кладограммы и филогенетических деревьев;
- научитесь сравнивать принципы различных форм филогенетических карт (кладограммы, филогенетические деревья).

Знаете ли вы?

- Является ли кладограмма филогенетическим деревом, показывающим длину ветвей?

**Ключевые
понятия:**

- *филогенетическое дерево*
- *дивергенция*
- *конвергенция*
- *аллогенез*
- *арогенез*

Систематизация живых организмов в виде Царства, типа, класса, отряда, семейства, рода, вида образуют различные разветвления. Это тоже называется филогенетическим деревом. О данной систематизации можно сказать, что она является естественной реальной систематизацией. В эволюционном развитии важно показать реальное происхождение живых организмов. Разветвление филогенетического дерева соответствует группам особей популяции в процессе видообразования. Также одним из сведений, имеющих важное значение в эволюции, — это изображение различных признаков (морфологических, эмбриологических, биохимических, генетических) живых организмов в виде дерева. Его называют естественной систематизацией. Естественная систематизация показывает последовательность эволюционного развития.

Естественная системность и филогенетическое дерево, образованное на основе различных признаков и статистических методов, состоят из коротких и длинных разветвлений.

В филогенетическом дереве длина ветвей, отображающих виды одного рода, длина ветвей, отображающих роды, относящихся к одному семейству, также длина ветвей, отображающих семейства одного отряда и т. д. будут одинаковыми.

К сведениям для примера проведенных исследований с помощью составления филогенетического дерева в эволюции относятся:

1. Сведения, приведенные в дереве, дают возможность определить происхождение Царства животных.

2. Формируют понятие о путях эволюционного развития разновидностей.

3. Геном дождевого червя показывает достижения в эволюционном развитии позвоночных животных.

4. Дают возможность для открытия новых видов в развитии членистоногих.

5. Доказывают скачкообразный характер эволюционного процесса.

Все филогенетические деревья, созданные независимо друг от друга, должны быть соответствующими и аналогичными друг другу. Можно создать филогенетическое дерево через получение отдельных генов, либо изучая различную некодированную последовательность.

Кладограмма — это филогенетическое дерево, не содержащее информации о длинах ветвей.

В филогенетическое дерево и кладограмму можно поместить информацию о филогенетических группах эволюции, кроме того, их можно использовать для составления родословной предков человека.

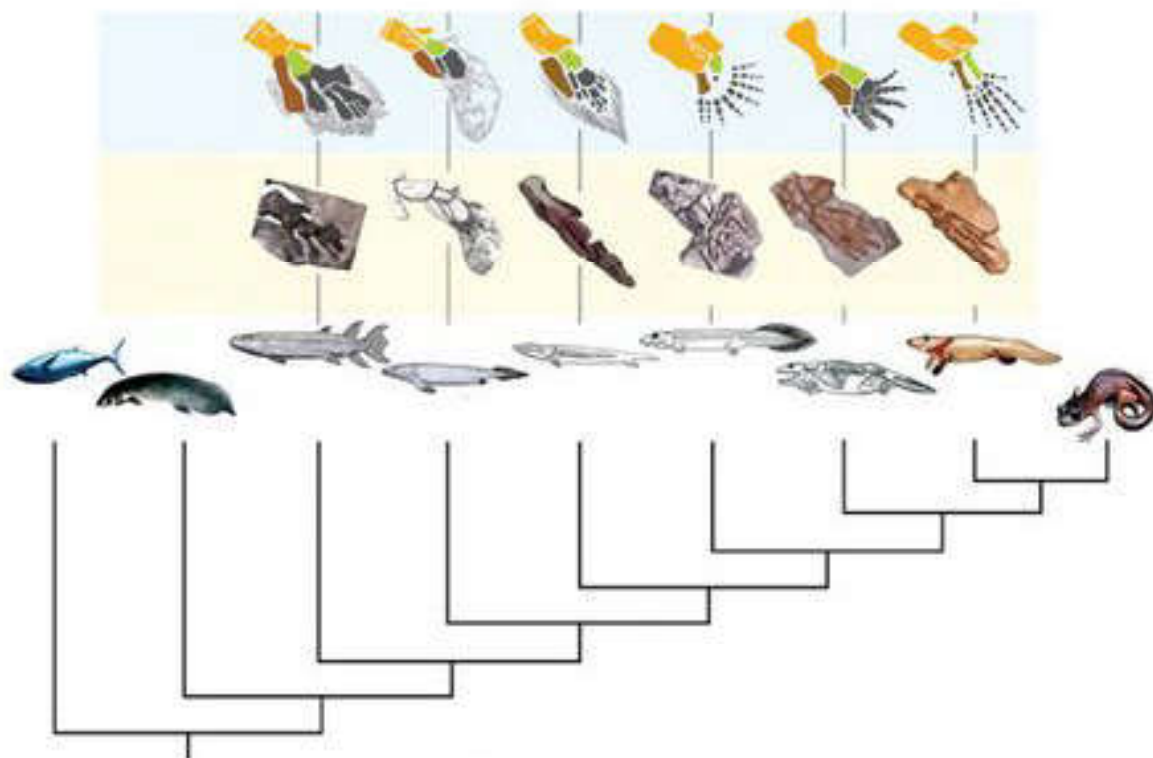


Рис. 160. Эволюция видов

Кевин Паднен, руководитель музея палеонтологии Калифорнийского университета, в своей работе “Развитие эволюционного образования” говорил о “происхождении четвероногих животных”.

В нем говорится, что 385—360 млн. лет назад у позвоночных были плавники, но со временем у них начали появляться ноги, и постепенно они перешли на сушу. Переходная фаза подтвердилась при раскопках. Некоторые виды были сохранены в музеях.

Но кладограмма не определяет генеалогическую связь между родителями и потомством, она только располагает организмы по их сходству. На рисунке 160 показаны девять животных от рыб до четвероногих в определенном порядке. На крайней ветви кладограммы мы видим ископаемую рыбу — лопастер.

Виды филогенеза. Эволюционные доказательства. Данные палеонтологии, биогеографии, сравнительной анатомии и других биологических дисциплин имеют большой потенциал для восстановления эволюционного процесса вышеуказанных видов на любом уровне. Сравнение эволюционных процессов в разных группах в разных биотических и абиотических средах при разных условиях внешней среды дает общую характеристику исторических особенностей развития для многих групп.

Среди форм филогенеза выделяют первичные — филетическую эволюцию и дивергенцию, лежащие в основе любых изменений таксонов, и вторичные — параллелизм и конвергенцию. *Филетическая эволюция* — это изменения, происходящие в одном филогенетическом стволе (без учета всегда возможных дивергентных ответвлений). Так

как без таких изменений не проходит никакой эволюционный процесс, филогенетическую эволюцию можно отнести к одной из элементарных форм.

Примером филогенетической эволюции может быть развитие предков лошадей по прямой линии: *фенокод* — *зоитус* — *миотип* — *парагитус* — *плиогитус* — *современные лошади*. В “чистом виде” (как эволюция без дивергенции) филогенетическая эволюция может характеризовать лишь сравнительно короткие периоды эволюционного процесса. Но она показывает, что процесс эволюции не может быть приостановлен.

Дивергенцией (лат. — иду обратно) называют расхождение в приобретении признаков родственных форм. Если в одной зоне обитают животные, требующие качество пищи и ее запас одинаковы, то когда закончится запас пищи, живые организмы будут вынуждены искать место с богатой пищей. Если в одной зоне обитают различные организмы с разными требованиями к внешней среде, то конкуренция между ними уменьшается, потому что каждый из них находит себе пищу. Несмотря на то, что с процессами дивергенции тесно связаны процессы уничтожения, некоторые из названных видов размножаются, оставляют потомство и продолжают жить. Остальные не смогут сохранить свою жизнедеятельность, погибают. Однако, если между различными видами конкуренция уменьшается, большинство могут сохранить жизнедеятельность.

Созданный путем естественного отбора вид превращается в новый вид. Здесь влияние различных наследственных признаков будет выраженным. Ч. Дарвин появление в ходе эволюции нескольких видов из начального одного вида называл расхождением признаков или дивергенцией.

Конвергенцией (лат. *conergo* — быть схожим) называют сходство внешних признаков друг с другом в зависимости от места обитания, хотя по родству они разные. Ярким примером конвергенции служат крылья летающих представителей различных систематических групп. Например, крылья членистоногих (бабочки, жуки и т. д.) — складки покрова тела, у птиц — передние конечности с мощными перьями.

У пресмыкающихся (птеродактили) и млекопитающих (летучие мыши) — складка кожи; у древних крылатых пресмыкающихся — передние конечности и хвост. У растений примером конвергенции являются колючки (кактуса, верблюжьей колючки). В первом случае это видоизменения листьев в колючки, в другом случае — видоизменения стебля (боярышник).

Правила формирования филогенетических групп. Существуют два основных направления эволюции природы: развитие групп арогенезом и аллогенезом. Эти пути тесно взаимосвязаны. Другие области эволюции можно рассматривать как отдельные от арогенеза и аллогенеза.

Аллогенез — это направление эволюции группы организмов, при котором у близких видов происходит смена одних частных приспособо-

блений другими, а общий уровень организации остается прежним. *Ароморфоз* — такое направление эволюции, при котором у некоторых групп внутри более крупного таксона появляются новые морфофизиологические особенности, приводящие к повышению уровня их организации. Эти новые прогрессивные черты организации называют *ароморфозами*. Ароморфозы позволяют организмам заселять принципиально новые, более сложные адаптивные зоны.

Эволюция не всегда идет по пути усложнения организации. Ароморфоз, который приводит к заполнению новой адаптивной зоны, порой на основании регресса приводит к простейшим формам морфофизиологической дегенерации.



Проверьте свои знания:



1. Что отражено в труде “Развитие эволюционного образования”?

2. Что такое *филетическая эволюция*?

3. В чем отличие дивергенции от конвергенции?



4. Обозначьте отличия аллогенеза и ароморфоза.

5. Опишите правила формирования филогенетических групп.

§ 94. СПОСОБЫ ВИДООБРАЗОВАНИЯ. МЕХАНИЗМЫ ВИДООБРАЗОВАНИЯ

Сегодня на уроке вы:

- изучите способы видообразования и механизмы видообразования;
- научитесь называть способы видообразования.

Знаете ли вы?

- Как называют группу особей, относящихся к одному виду свободно скрещивающихся, дающих плодовитое потомство и обитающих в определенной части ареала этого вида?

Ключевые понятия:

- *симпатрическое видообразование*
- *видообразование*
- *естественный отбор*
- *аллопатрическое видообразование*

Вид — это совокупность особей, имеющих общее происхождение и ареал обитания, приспособленных к определенным условиям жизни, скрещивающихся в природе только между собой, обладающих схожими функциями и строением. Процесс образования вида считается результатом микроэволюции. Вид формируется из биологических популяций, состоящих из отдельных особей,

которые обладают в ходе эволюции сходным геномом. *Популяция* — группа особей одного вида, в течение длительного времени проживающих на одной территории, свободно скрещивающиеся, дающие пло-

довитое потомство. Особи внутри популяции тесно связаны между собой. Основная особенность популяции заключается в сходности генотипов ее особей. Особи внутри популяции свободно скрещиваются между собой.

Видообразование, или появление нового вида, — очень сложный и длительный эволюционный процесс (рис. 161). Чарльз Дарвин в 1859 г. в своей теории об естественном отборе впервые показал, что образование новых видов из одного общего вида — предка идет за счет дивергенции вида. Представители любого вида распределяются в пространстве не равномерно, а образуют группы. Количество групп особей внутри одного вида и продолжительность их существования могут быть различны. Например, в лужах, появившихся после продолжительных дождей, могут появиться головастики лягушек, но они погибнут, когда эти лужи высохнут. С другой стороны, количество лягушек, обитающих в больших водоемах, может уменьшаться или увеличиваться, но продолжительность их жизни будет гораздо дольше. Из каждой такой группы образуется новый вид. На образование нового вида влияют адаптивные возможности особей и различные внешние факторы. Докажем это на примере: генетически сходные особи под влиянием физических факторов подвергаются географической изоляции, поэтому видовой состав горной местности, где вершины отделяют равнины друг от друга, богаче видового состава равнинных зон.



Рис. 161. Видообразование

Симпатрическое, или экологическое, видообразование. В симпатрическом видообразовании важную роль играют онтогенетические адаптации животных. Известно, что птицы стараются не менять место гнездования, поэтому определенные особи для размножения всегда возвращаются на одно и то же место. В таких ситуациях животные выбирают только определенные сочетания факторов, и уже одно это приводит к разделению популяции. При симпатрическом видообразовании разделение групп в пространстве не является обязательным условием. Есть множество механизмов дивергенции видов. Это подтверждается существованием разных видов бабочек или листовой тли на одной территории. Эти виды являются облигатными монофагами, так как питаются только определенными видами растений. Симпатрическое видообразование может идти несколькими путями. Первый из них — появление нового вида при изменении карิโอтипа путем полиплоидии. Второй путь — гибридизация с увеличением числа хромосом. Третий путь — репродуктивная изоляция особи внутри исходной популяции в ходе хромосомных или геномных перестроек. Этот путь широко распространен и в растительном, и в животном мире. Особенность симпа-



Рис. 162. Появление новых видов

трического механизма заключается в том, что он приводит к образованию новых видов, морфологически сходных с предковым видом. Итак, симпатрический механизм является основным способом видообразования для животных, обладающих двигательной и приспособительной активностью. Механизмы дивергенции и отбора являются движущей силой микроэволюции. Аллопатрическое, или географическое, видообразование происходит за счет разделения ареала обитания популяции на несколько изолированных частей (рис. 162). Географические преграды (горная гряда или воды океана) приводят к появлению изолированных в пространстве популяций. В таком положении естественный отбор будет действовать на изолированные популяции по-разному, а влияние дрейфа генов и мутационных процессов будет явно различаться. С течением времени будет происходить накопление новых генотипов и фенотипов. Особи из изолированной части могут занять новую экологическую нишу. Такие изменения могут привести к тому, что эти отдельные группы достигнут уровня отдельного вида.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *вид*?
2. Дайте характеристику процессу видообразования.
3. Что такое *дивергенция*?



4. Объясните, в чем заключается аллопатрический механизм видообразования. Приведите примеры.
5. Что такое *симпатрическое видообразование*? Приведите примеры.



Назовите определения к приведенным предложениям:

1. Процесс изменения и образования видов в результате накопления новых признаков.
2. Неспособность давать потомство в результате гибридизации.
3. Расхождение особей одного вида или популяции по экологическим признакам.
4. Разделение ареала обитания вида на несколько изолированных частей из-за географических преград.



Дополните предложения.

- ...появление нового вида — очень сложный и длительный эволюционный процесс.
- ...появление нового вида при изменении кариотипа путем полиплоидии.
- ...происходит из-за разделения ареала обитания вида на несколько изолированных частей.
- ...явление, обусловленное и возможное благодаря расхождению видов.

§95. ИЗОЛИРУЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ ВИДООБРАЗОВАНИЯ

Сегодня на уроке вы:

- изучите изолирующие механизмы видообразования;
- научитесь классифицировать основные механизмы видообразования.

Знаете ли вы?

- Как происходит изоляция популяций вида?

Ключевые понятия:

- механизм изоляции видов
- изолирующие факторы

Современные взгляды на формирование видов. В XX в. российские ученые С.С. Четвериков и И. Шмальгаузен доказали, что мутация в эволюционном процессе играет ключевую роль. Во время мутации изменяется наследственный генетический материал, что приводит к изменению определенных признаков организма.

С 1901 по 1903 г. основатель мутационной теории Х. де Фриз отметил, что мутация — это непрерывный, постоянно протекающий процесс. В 1926 г. выдающийся русский ученый С.С. Четвериков вместе со своими учениками изучил мутационную изменчивость у плодовых мушек из естественной популяции и заложил основы генетики популяций. Он также обнаружил, что рецессивные мутации часто встречаются в естественных популяциях.

В 1926 г. С.С. Четвериков опубликовал статью под названием “О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики”. В этой статье было отмечено, что, хотя фенотип организмов в естественной популяции одинаковый, рецессивные мутации и колебания частот генов в результате влияния факторов окружающей среды встречаются чаще. Также он показал, что при свободном скрещивании внутри популяции частота генотипов будет постоянно одинаковой и будет находиться в состоянии равновесия. В каждой отдельной популяции особи по внешним признакам очень схожи друг с другом. Каждая популяция внутри отличается от другой по количеству и плотности численности особей.

Популяции одного вида отличаются друг от друга изоляцией. Популяции, находящиеся в приграничных областях, обмениваются генетической информацией друг с другом и представляют собой единую систему. Даже если популяция приспособилась к определенной природной среде, нельзя сказать, что в ней не происходит процесс естественного отбора. В каждой популяции есть мутационные изменения, что приводит к резкому отклонению от нормы признака, и в результате отбора некоторые особи отсеиваются.

В результате стабилизирующего отбора в популяции остаются особи с наиболее благоприятными признаками для данных условий. Этот тип естественного отбора открыт российским ученым И. И. Шмальгаузенем.

Механизм изоляции видов. Вид состоит из популяций. Если особи одной популяции полностью или частично не скрещиваются с особями другой популяции, то такая популяция подвергается процессу изоляции. Если такое разделение идет последовательно в ряду поколений, факторы отбора в разных популяциях действуют в различных направлениях, что приводит к дифференциации популяции. Впоследствии эти популяции могут дать начало появлению новых видов.

Изолирующие факторы. Изоляция популяций внутри вида может быть обеспечена географическими (горные процессы, возникновение рек и водохранилищ), экологическими и биологическими факторами. Разделение любой популяции, вызванное геологическими изменениями, может привести к географической изоляции. Экологические факторы окружающей среды, такие как территориально-климатические, микроклиматические, сезонно-климатические факторы и др. также могут препятствовать свободному размножению организмов. Например, популяции рыб, обитающих в море, но совершающих нерест в реках, отличаются разнообразием в каждой из рек. У этих популяций размер особей, цвет в период нереста, способ и период размножения различаются.

К числу биологических факторов, нарушающих свободное размножение, относятся генетические и физиологические факторы. Среди генетических факторов можно отметить нарушения мейоза, что препятствует воспроизведению здорового потомства. Причинами таких нарушений являются полиплоидия, хромосомные, нуклеотидно-цитоплазматические нарушения. Каждое из этих явлений может препятствовать свободному размножению, а следовательно, привести к генетической изоляции.

Изоляция популяции также может быть обеспечена физиологическими факторами. Известно, что рыбы, обитающие в море, возвращаются в реку, где они родились, для нереста. Физиологический процесс, который гарантирует, что рыба вернется в реку, в которой она живет, является фактором изолированности речных рыб. Такое разделение ограничивает свободу размножения между особями внутри одного вида. У животных условный рефлекс (изменения в суточной и сезонной половой активности, селективное спаривание и т. д.) обеспечивает изоляцию. Например, петух спаривается с курицей, окрас которой ему нравится. Также и у насекомых есть избирательный критерий для спаривания.

С генетической стороны, изоляция группы особей из популяций увеличивает возможность скрещивания между одинаковыми особями.

Таким образом, изоляция способствует росту инбридинга, т. е. сама изоляция будет определять дифференциацию популяции.



Проверьте свои знания:



1. Объясните современные представления о формировании видов.

2. Каков смысл процесса изоляции популяции?

3. Что такое *фактор изоляции*?



4. Объясните генетические и физиологические факторы изоляции.



Заполните таблицу.

ФИО ученых	Их взгляды и мнения



Подготовьте презентацию по теме урока.

§ 96. РОЛЬ РЕПРОДУКТИВНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ВИДООБРАЗОВАНИИ. ПОЛИПЛОИДИЯ И ГИБРИДИЗАЦИЯ

Сегодня на уроке вы:

- изучите роль репродуктивной изоляции в видообразовании;
- научитесь классифицировать основные механизмы видообразования.

Знаете ли вы?

- К какой изоляции приводит изменение выбора при спаривании?

Примером экологической специализации в связи с пространственной изоляцией могут служить так называемые кольцевые виды. В Западной Европе ареал серебристых чаек и клуши перекрывается. Эти два вида существенно отличаются друг от друга, и они не вступают в скрещивания друг с другом. Однако, если проследить их географические расы к западу (Гренландия, Канада, Аляска) и к востоку (Северная Европа, Северо-Западная и Северо-Восточная Сибирь), то выявится, что последние образуют непрерывное кольцо вокруг Северного Ледовитого океана. Здесь наблюдается свободное скрещивание между особями соседних географических рас. Н.В. Тимофеев-Ресовский считал, что первоначальное распределение чаек к западу и востоку началось с промежуточного района, такого как

Ключевые понятия:

- поведенческая изоляция
- сезонная изоляция
- сальтационизм
- полиплоидия

Восточная Сибирь. Это распределение сопровождалось усиливающейся специализацией географических рас. В Западной Европе, когда кольцо вновь замкнулось, родственные формы стали “не узнавать” друг друга и оказались разными видами.

Экологическая специализация внутри вида может иметь место в смежных областях без географического удаления дивергирующих форм. Примерами этого являются эндемичные формы в районах больших водохранилищ. Например, в озере Байкал насчитывается более 300 видов ракообразных, относящихся к семейству *Сammaridae*, многие из которых не встречаются в других районах. Появление этих эндемичных видов, вероятно, обусловлено экологической изоляцией, различиями в направлении влияния отбора в популяциях, обитающих в одном месте, но отдельно друг от друга.

К числу рассматриваемых явлений можно добавить сезонную изоляцию, связанную с различием сроков размножения. Например, некоторые виды растений подразделяются на яровые и озимые формы, а также расы-эфемеры, которые цветут весной или осенью. Во всех случаях возникновение внутривидовой дивергенции в зависимости от экологической специализации способствует приспособлению популяции к конкретным условиям существования и обеспечивает полное использование территориальных, пищевых и других ресурсов в месте обитания.

В основе расхождения по морфофизиологическим особенностям географических или экологических рас лежит дивергенция генетической структуры популяции. Если такая дивергенция будет развиваться дальше, то это приведет к развитию механизмов репродуктивной изоляции, которая в некоторой степени будет ограничивать возможность скрещивания особей, принадлежащих к разным популяциям.

Основными формами репродуктивной изоляции являются: изменение характера избирательности спаривания и оплодотворения, снижение фертильности и жизнеспособности гибридов.

Изменение характера избирательности спаривания называется *поведенческой изоляцией*. Это предшествует в своем возникновении появлению у животных других форм репродуктивной изоляции и связано с тем, что половое поведение особей противоположного пола представляет собой сложный комплекс наследственно контролируемых безусловных реакций. Об этом свидетельствуют брачные игры перед скрещиванием у многих видов рыб, птиц и млекопитающих. Весь этот комплекс обеспечивает предотвращение скрещивания между видами, т. е. приводит к репродуктивной изоляции.

Снижение воспроизводства и жизнеспособности особей представляет собой результат генетической разницы, способствует дивергенции популяций вплоть до образования новых видов.

Политлоидия — это увеличение числа хромосом, кратное гаплоидному числу в результате нарушения деления в процессе мейоза. По-

липлоидия относится к геномным мутациям. Из-за многократного увеличения числа хромосом полиплоидные растения различаются по фенотипу. Такие растения, как правило, высокые, с крупными листьями, стеблями и крупными плодами, высокой продуктивностью. Полиплоидные растения могут быть получены искусственными методами.

Под воздействием на семена растений высоких температур, гамма-, бета-излучений и химических соединений было получено много видов полиплоидов. Среди них — важные разновидности сахарной свеклы, триплоидные ($3n$), тетраплоидные ($4n$), а также полиплоидные сорта гречихи и фруктовых деревьев. Полиплоидные организмы делятся на $3n$ -триплоиды, $4n$ -тетраплоиды и

$5n$ -пентаплоиды — в зависимости от количества хромосом. Полиплоидные растения включают: просо, яблоко, грушу, сливу, клубнику, некоторые сорта винограда, тутовое дерево, ананас, банан, арахис, хлопок, картофель, капусту и др. (рис. 163).

Внезапное видообразование не приводит к разделению ареала на части и является симпатрическим. Кроме того, в результате внезапных изменений после нескольких поколений появляются новые виды.

Полиплоидия вызывает изменения разных признаков организма. Именно поэтому она считается важным источником наследственной изменчивости для эволюции и селекции. Например, если взять тетраплоидную форму ржи, выведенную селекционером В.Ф. Федоровым, она отличается крупнозерностью и прочным стеблем по сравнению с диплоидной формой.

Эволюционная теория, согласно которой видообразование происходит очень быстро, — в течение нескольких поколений, называется *сальтационизмом* (рис. 164). Таким образом произошло видообразование галапагосских вьюрков.

Гибридизация — это процесс образования или получения гибридов с целью получения нового сорта, породы или линии, сочетающих выгодные признаки и свойства. При отдаленной гибридизации гибриды часто стерильны. Это связано с тем, что каждый вид имеет различное количество хромосом. Несовместимые хромосомы в процессе мейоза не могут правильно образовывать пары, и половые клетки не получают нормального набора хромосом. Однако, если происходит мутация ге-



Рис. 163. Плоды полиплоидных растений

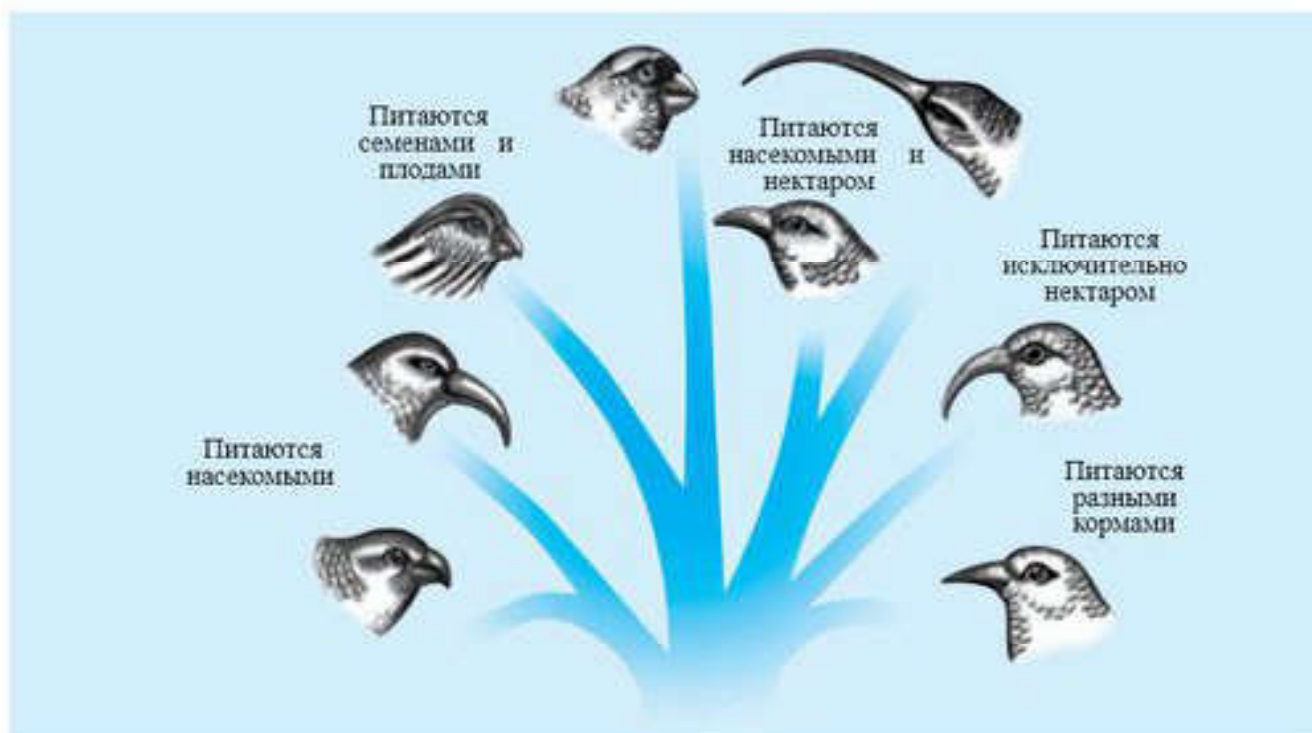


Рис. 164. Сальтационизм

нома, которая вызывает увеличение числа хромосом, мейоз протекает нормально и образуются нормальные половые клетки. При этом гибридная форма приобретает способность к размножению и утрачивает возможность скрещивания с родительскими формами. Кроме того, межвидовые гибриды растений можно размножать вегетативным путем.

Существующие в природе естественные ряды гибридных видов растений возникли, вероятно, именно таким способом. Так, известны виды пшеницы с 14, 28 и 42 хромосомами, виды роз с 14, 28, 42 и 56 хромосомами и виды фиалок с числом хромосом, кратным 6 в интервале от 12 до 54. По некоторым данным, гибридогенное происхождение имеют не менее трети всех видов цветковых растений.

Было доказано гибридогенное происхождение у некоторых видов животных — скальных ящериц, земноводных и рыб. Некоторые виды кавказской скальной ящерицы с триплоидным набором хромосом размножаются путем партеногенеза.



Проверьте свои знания:



1. Приведите пример экологической изоляции.
2. Что такое сезонная изоляция?
3. Каковы основные формы репродуктивной изоляции.
4. Каковы результаты при дивергенции особей популяций вплоть до образования новых видов?
5. Дайте определение явлению полиплоидии.
6. Выскажите свое мнение о гибридизации.
7. В результате чего происходит геномная мутация?



Вставьте в предложения пропущенные слова.

1. Примером экологической специализации в связи с пространственной изоляцией могут служить так называемые... виды. 2. Изменение характера избирательности спаривания называется... изоляцией. 3. Появление этих эндемичных видов, вероятно, обусловлено... изоляцией, различиями в направлении влияния отбора в популяциях, обитающих в одном месте, но отдельно друг от друга. 4. В основе расхождения по морфофизиологическим особенностям географических или экологических рас лежит... генетической структуры популяции.



Сделайте вывод по изученному материалу методом "Пять пальцев".

1. Эффект, полученный от урока.
2. Информация, которую вы уже знали.
3. Новая информация, которую получили сегодня.
4. Информация, которую вы хотели бы знать.
5. Ключевой момент.



§97. СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ СЕЛЕКЦИИ

Сегодня на уроке вы:

- изучите способы улучшения сельскохозяйственных растений и животных;
- научитесь находить способы улучшения сельскохозяйственных растений и животных с помощью методов селекции.

Знаете ли вы?

- Какая наука изучает ценные породы животных, сорта растений, выведение штаммов растений?

Селекция — это наука, которая изучает методы и биологические основы создания ценных пород животных, сортов растений, штаммов микроорганизмов. Селекция (от лат. *selection* — "выбор", "отбор") — наука, занимающаяся созданием новых сортов и пород животных. Генетика является научно-теоретической базой селекции. Также селекция основана на достижениях молекулярной биологии, физиологии, цитологии и других биологических наук. В настоящее время клеточная и геновая инженерия, а также достижения в области биотехнологии способствуют развитию селекции.

Ключевые понятия:

- селекция
- гомологический ряд
- искусственное оплодотворение

Основные законы наследственности и изменчивости характерны для всех организмов. При выведении новых пород животных и сортов рас-

тений является важным знанием этих законов, потому что эти процессы основаны на наследственной изменчивости.

Селекция и семеноводство очень важны для повышения эффективности сельскохозяйственного производства. В результате культивирования высокопродуктивных сортов и гибридов, адаптированных повсеместно, урожайность культивируемых культур может быть увеличена на 40—50% и более. Первоначально для создания новых сортов использовался только отбор. В настоящее время наряду с отбором в селекции широко используются другие методы, такие как гибридизация, полиплоидия, мутагенез, методы биотехнологии. Кроме того, особое внимание уделяется использованию таких методов, как генная инженерия, гаплоидная селекция, требующих высокой квалификации селекционеров. Селекция, основанная на выведении новых сортов, пород и штаммов организмов, зависит от конкретных методов.

Отбор, производимый человеком, называется *искусственный отбор*. Чарльз Дарвин в своем учении определил два типа искусственных отбора — *бессознательный* и *методический*. Люди использовали бессознательный отбор на ранних этапах одомашнивания диких животных. Они оставляли для себя более продуктивных животных и высокоурожайные растения.

Селекция растений возникла и развивается одновременно с сельским хозяйством. Как отмечал Н.И. Вавилов, сельское хозяйство и выращивание культурных растений идут параллельно общей человеческой культуре.

В Казахстане ученый Карим Мынбаев изучал и описывал биологические сорта сахарной свеклы с научной точки зрения. Защитив кандидатскую и докторскую диссертации под руководством Н. И. Вавилова, Карим Мынбаев основные свои научные труды посвятил теме генетики и селекции растений. Некоторые идеи, планы, мечты ученого осуществились позже. Таким образом проекты превращения Казахстана в целинный край, использования Бетпакдалы для развития животноводства, а также обводнения регионов Центрального и Южного Казахстана, выращивания саксаула для препятствия движению песчаных барханов служили на благо населения.

В развитие селекционной науки большой вклад внесли казахстанские ученые: академики Национальной академии наук Ф. М. Мухамедгалев, Г. З. Бияшев, Б. Дарканбаев, М. А. Айткожин, Н. Я. Удольская и др. ученые.

В селекции растений Ш. Берсиев по сорту пшеницы, полученного путем сортировки, поставил мировой рекорд, получив с каждого гектара 210 ц.

К. Мынбаев, В. П. Кузьмин, А. М. Габбасов, Г. З. Бияшев, Н. А. Удольская и др. в результате скрещивания зерновых, технических и других

культур вывели более продуктивные сорта пшеницы, ячменя, каучука, кукурузы и сахарной свеклы.

М. Х. Шыгаева, К. А. Толемисова получили мутантные формы микроорганизмов, из штаммов которых увеличилось производство антибиотиков. Н. С. Бутарин, А. Е. Есенжолов, А. П. Жандеркин, используя дикого козла архара, получили породу овец архара-мериноса. М. А. Ермеков, А. Е. Еламанов, В. А. Бальмонт, Д. Н. Пак, К. У. Медеубеков вывели породы домашних животных с большей продуктивностью, например, казахскую тонкорунную овцу (южно-казахстанского и бескарагайского мериноса). Высокопродуктивные породы крупно рогатого скота (казахскую белоголовую и алатаускую) и лошадей (костанайскую) и т. д. В Казахстане впервые под руководством М. А. Айтхожина проведены исследования в области молекулярной биологии и генной инженерии, в частности, определение информационной рибонуклеиновой кислоты растений, и др. В последние годы в республике поставлена работа по проведению научных исследований по самым важным отраслям генетики: молекулярная генетика (Р. П. Берсимбаев) и радиационная генетика (К. К. Мухамбетжанов, А. Т. Сейсебаев).

Достижения в селекции растений связаны с разнообразием полученного генетического материала: чем более разнообразный материал, тем больше возможностей для создания многих новых сортов. Для целенаправленного отбора полученных форм важным стал закон гомологических рядов, созданный Н. И. Вавиловым. Смысл этого закона заключается в том, что генетически близкие виды и роды характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости. Таким образом, зная наследственную изменчивость одного вида, можно определить изменчивость у ближайших видов и родов. Закон гомологических рядов имеет практическое значение, поскольку он позволяет выбирать существующие виды по экономическим признакам.

Закон гомологических рядов имеет практическое значение, потому что отсутствующие у одного вида хозяйственно ценные признаки можно получить с помощью методов селекции, используя другие виды и роды.

Выведение новой породы животного включает в себя следующие этапы: выбор пар для скрещивания, создание "чистых" линий, периодическое скрещивание линий между собой и создание подходящих условий среды для сохранения животных. Прежде чем выбрать родительские пары для скрещивания, в первую очередь определяется степень проявления признака. Значительное внимание уделяется производителям породы, потому что от них путем искусственного осеменения возможно получить многочисленное потомство.

Создание "чистой" линии предполагает скрещивание особей одного потомства между собой или возвратно с отцовской линией. В результате

выделяют хозяйственно важные признаки, по гомозиготному состоянию аллелей, определяющее эти признаки.

В качестве классического примера селекции животных можно описать работу селекционера М. Ф. Иванова по выведению породы мясных и тонкорунных овец, высокопродуктивной породы свиней (украинская степная белая свинья), крупнорогатого скота мясомолочного направления (порода костромская). Например, для создания асканийской породы овец М. Ф. Иванов взял лучших украинских меринсов и скрестил с американским рамбулье. Порода свиней украинские степные белые получили путем скрещивания местных пород с высокопродуктивными самками, привезенными из Англии. В результате девятилетней селекционной работы была создана новая порода, которая по весу, быстрому росту, продуктивности и качеству продукта была не хуже крупных белых свиней, а также лучше приспособлена к местным условиям.

Центры происхождения культурных растений. Выдающийся генетик и селекционер академик Н. И. Вавилов показал, что наиболее многообразные генотипы культурных растений находятся в центрах их происхождения, где в диком состоянии сохранились их предки (рис. 165).

В связи с этим для сбора мировой коллекции культурных растений Н. И. Вавилов и его сотрудники побывали в экспедициях по всей территории бывшего Советского Союза и во многих зарубежных странах: в Иране, Афганистане, Средиземноморье, Эфиопии, Центральной Азии, Японии, Северной, Центральной и Южной Америке.

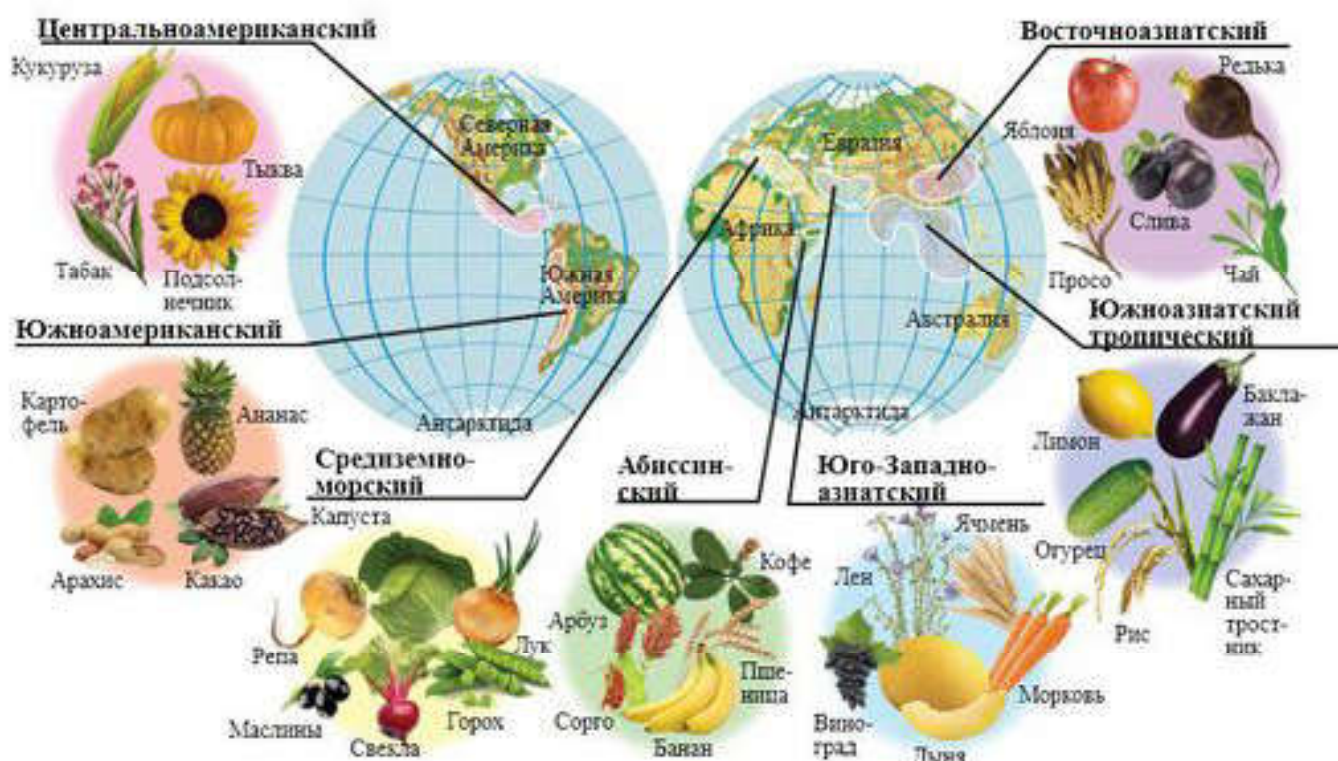


Рис. 165. Центры происхождения растений

Центры происхождения. Вавилов определил семь основных центров происхождения культурных растений.

1. Южноазиатский (родина риса, сахарного тростника, банана, кокосовой пальмы и др.).
2. Восточноазиатский (родина проса, гречихи, груши, яблони, сливы, ряда цитрусовых).
3. Юго-западноазиатский (родина мягкой пшеницы, карликовой пшеницы, гороха, чечевицы, конских бобов, хлопчатника).
4. Средиземноморский (родина маслин, свеклы, капусты и др.).
5. Абиссинский (эфиопский) (родина твердой пшеницы, ячменя, кофейного дерева).
6. Центральноамериканский (родина кукурузы, американской фасоли, тыквы, перца, какао, американского хлопчатника).
7. Южноамериканский (родина картофеля, табака, ананаса, арахиса).

Н. И. Вавиловым собрана самая крупная в мире коллекция культурных растений, которая и в настоящее время используется селекционерами в их практической работе.



Проверьте свои знания:



1. Дайте определение понятию *селекция*.
2. Что такое *сорт, порода, штамм*?
3. Какова роль искусственного отбора?



4. Каких ученых-селекционеров вы знаете? Какой вклад они внесли в развитие селекции?



1. Нарисуйте контурную карту:
 - а) напишите названия центров происхождения культурных растений на карте;
 - б) распределите следующие растения согласно соответствующим центрам:
 1. Банан. 2. Рис. 3. Просо. 4. Сахарный тростник. 5. Хлебное дерево. 6. Арбуз. 7. Морковь. 8. Виноград. 9. Пшеница. 10. Рожь. 11. Ячмень. 12. Хлопок. 13. Фасоль. 14. Картофель. 15. Кукуруза. 16. Тыква. 17. Какао.
2. Определите растения по соответствующим центрам.
 - А. Картофель. Б. Хлопок, кокос. В. Банан. Г. Оливковое дерево. Д. Пшеница. Е. Рожь. Ж. Соя, просо. З. Рис. И. Сахарный тростник. К. Фасоль. Л. Тыква.

Культурные центры	Названия растений
Южноазиатский	
Восточноазиатский	
Юго-западноазиатский	
Средиземноморский	
Абиссинский	
Центральноамериканский	
Андийский (Южноамериканский)	

§98. ГИБРИДИЗАЦИЯ (СКРЕЩИВАНИЕ). ПОЛИПЛОИДИЯ. ИСКУССТВЕННЫЙ МУТАГЕНЕЗ

Сегодня на уроке вы:

- изучите гибридизацию, полиплоидию, искусственный мутагенез;
- научитесь находить способы улучшения сельскохозяйственных растений и животных с помощью методов селекции.

Знаете ли вы?

- Какие методы скрещивания используются для выведения новых сортов растений и пород животных?

Ключевые понятия:

- инбридинг
- аутбридинг
- гетерозис
- биотехнология
- генная инженерия
- микробиологический синтез

Основными методами селекции являются отбор, гибридизация, полиплоидия, мутагенез и другие методы клеточной и генной инженерии. Для получения новых пород животных и сортов растений применяют метод гибридизации, который, в свою очередь, делится на инбридинг и аутбридинг.

Скрещивание родственных организмов называют **инбридингом** (от англ.

inbreeding: *in* — “в, внутри”, *breeding* — “разведение”). Инбридинг широко используется селекционерами для усиления целевых характеристик породы или сорта. При инбридинге, т. е. близкородственном скрещивании, гены имеют много одинаковых аллелей, возможность проявления которых высокая. В связи с этим при близкородственных скрещиваниях гомозиготность с каждым поколением увеличивается.

У растений инбридинг происходит естественным путем в процессе опыления и приводит к увеличению числа гомозигот. У перекрестно-опыляемых растений инбридинг называется **принудительным самоопылением**. В близкородственном скрещивании имеются положительные стороны. Если родители обладают ценными качествами, то они передаются их потомкам. Близкородственные скрещивания широко используются в селекции животных и растений для закрепления нужных признаков пород животных и сортов растений, линий генетически идентичных особей (инбредные линии).

Неродственные скрещивания называются **аутбридингом** (от англ. *outbreeding*: *out* — “вне” и *breeding* — “разведение”), в результате которого ожидается получить организмы с высокой жизнеспособностью, устойчивостью к неблагоприятным условиям среды, высокой продуктивностью.

В этом случае при скрещивании используют особи разных видов. Полученные гибриды в большинстве случаев не дают потомства, т. к.

различия в числе хромосом родительских форм приводят к различным нарушениям в мейозе.

Превосходство межлинейных гибридов первого поколения над родительскими формами по жизнеспособности, урожайности, плодовитости и ряду других признаков называется *гетерозисом* (“гибридная сила”). Гетерозис чаще встречается у гибридов первого поколения. В сравнении с родительскими формами гибриды отличаются высокой жизнеспособностью и урожайностью. Однако эти свойства в последующих поколениях постепенно уменьшаются. Явление гетерозиса часто используется в селекции растений и животных. Это явление в 1914 г. первым наблюдал у кукурузы американский ученый В. Шелл. Он обнаружил, что урожайность гибридов кукурузы второго поколения упала на 35%, а у третьего поколения — на 50%.

В селекции применяются два вида отбора — *массовый* и *индивидуальный*. При массовом отборе из популяции отбирается достаточно большое число особей, отличающихся по селекционно важным фенотипическим признакам. Отбор проводится многократно в ряду поколений.

При индивидуальном отборе выбирают отдельную особь, и при последующем самоопылении у растений или близкородственных скрещиваниях у животных получают чистые линии, генетически гомозиготные группы особей.

Причиной этого является то, что более половины гетерозигот в каждом новом поколении дают гомозиготы, тем самым увеличивая количество гомозигот в каждом из поколений. Например, 100%-й уровень гомозиготности при самоопылении растений достигается в 7—8-м поколениях.

Индивидуальный отбор характерен для самоопыляющихся растений. Выведенные таким образом сорта сохраняют стабильность генотипа. Искусственный, или индуцированный, мутагенез дает возможность повысить генетическое разнообразие селекционного материала. Особенно эффективно применяется в селекции микроорганизмов и растений. Для увеличения частоты мутаций, определяющих важные для человека признаки, используются различные мутагенные факторы: облучение ионизирующими и ультрафиолетовыми лучами, воздействие некоторыми химическими веществами, например, этиленмином, и т. д.

В селекции особое внимание уделяется получению полиплоидных растений с высокой продуктивностью. *Полиплоидией* называется увеличение числа хромосом, кратное гаплоидному числу.

Полиплоидия в основном может быть вызвана тремя причинами: удвоением числа хромосом в неделящейся клетке, слиянием соматических клеток или их ядер и образованием гамет с удвоенным числом хромосом в результате *неправильного течения мейоза*. Впервые в 1924 г.

генетик Г. Д. Карпеченко получил плодовитый гибрид капусты и редьки — рафанобрассика.

Обычный капустно-редечный гибрид оказался неплодовитым, поскольку наблюдалось нарушение конъюгации хромосом в мейозе. Г. Д. Карпеченко удалось удвоить количество хромосом гибрида, поэтому каждая хромосома нашла себе парную, и плодовитость гибрида восстановилась. В настоящее время для получения полиплоидов используется колхицин (растительный алкалоид). Это вещество разрушает образование нитей веретена деления во время мейоза и препятствует расхождению гомологичных хромосом. В результате появляются клетки с удвоенным числом хромосом.

Искусственный мутагенез представляет собой метод получения искусственных мутаций под действием физических и химических мутагенов. Этот метод часто используется в экспериментальной генетике. В селекции животных, растений и микроорганизмов мутагенез используется для получения мутантов. В естественной природной среде частота возникновения мутаций относительно низкая. Поэтому в селекции часто используется искусственный мутагенез.

Достижения биотехнологии на первом этапе развития и в ближайшем будущем связаны с решением проблем современного человечества, таких как сохранение здоровья и охрана окружающей среды, обеспечение населения планеты продуктами питания и другими химическими веществами, лекарственными препаратами и т. д.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *скрещивание*? Перечислите виды скрещивания.

2. Что вы знаете об отдаленной гибридизации?



3. Полиплоидия — это...

4. Расскажите о значении мутагенеза, его основных направлениях.



Опираясь на их описания, ответьте, о чем идет речь.

а) Применяют для получения новых сортов растений, пород животных. Они делятся на два вида. В первом поколении при переходе генов в гомозиготное состояние доля гомозиготных особей увеличивается. В животноводстве потомство, полученное от одних родителей, скрещивают между собой либо с одним из родителей. Это похоже на самоопыление растений и приводит к увеличению числа гомозигот. Наряду с этим, мутации (рецессивные гомозиготные отрицательные), появившиеся в потомстве, негативно влияют на производительность и жизнеспособность особей.

б) При этом явлении жизнеспособность и производительность гибрида по сравнению с родителями увеличивается. Но это свойство постепенно исчезает у потомств следующих поколений. Это явление широко применяют в селекции растений и животных. Его в 1914 г. первым наблюдал у кукурузы американский ученый В. Шелл. Он обнаружил, что урожайность гибридов кукурузы второго поколения упала на 35%, а у третьего поколения — на 50%.

- в) "Использование потенциала живых организмов и биологических процессов в интересах хозяйственной деятельности человека" — это высказывание получило широкое распространение в 1970-х г., но, как известно, микроорганизмы уже давно использовались в хлебопечении, виноделии, при производстве пива, сыроварении. Современная биотехнология основывается на достижениях наук — микробиологии, биохимии, молекулярной биологии, генетики и т. д.

Интересно знать!

Генетическая коррекция человека вполне может стать реальностью ближайшего будущего. Так, в декабре 2008 г. было объявлено, что в Лондоне ожидается рождение первого в мире генетически модифицированного ребенка. В январе 2009 г. было объявлено об успешном рождении девочки.

§ 99. ЭТАПЫ АНТРОПОГЕНЕЗА. ПРОТОАНТРОПЫ. АРХАНТРОПЫ. ПАЛЕОАНТРОПЫ. НЕОАНТРОПЫ

Сегодня на уроке вы:

- изучите этапы антропогенеза;
- научитесь называть этапы антропогенеза.

Знаете ли вы?

- Из скольких частей состоит антропология? Какая наука изучает роль человека в мире животных?

Антропология (с греч. *антропос* — "человек") — это наука, изучающая человека: его происхождение, развитие, существование в природной и культурной среде. Она исследует происхождение человека на разных этапах его развития.

Антропология широко и в сравнении изучает биологическое своеобразие человека в зависимости от пола, возраста, конституции, этнической и расовой принадлежности.

Антропология состоит из нескольких разделов. Одним из них является антропогенез. Антропогенез изучает происхождение и эволюцию человека, историю его развития как отдельного биологического вида, этапы развития человеческого общества в тесной связи с естественными и социальными науками.

Антропологи изучают ряд качественных признаков и особенностей количественных характеристик человеческого тела. Антропогенез основан на точных данных, таких как приматология, эмбриология, физио-

Ключевые понятия:

- антропология
- эпоха протоантропов
- эпоха архантропов
- эпоха палеоантропов
- неолит
- *Homo sapiens*

логия, психология, геология, археология, этнография и лингвистика. Согласно эволюционному учению ×áðèùçà Äàðàèíà, èðàè íðíèçíòèè íò àâñòðàëîïíòåêà è ñ àéíèèàè+àñèèè òí+èè çðàíèý íòííóòíý è íàííò àèáó.

Движущие силы антропогенеза. Как и для других видов, движущей силой антропогенеза стал отбор. На ранних этапах эволюции íàæáó íðàáíòààèèðàèýíè àèáà íðíðíàèèè естественный отбор. В результате этого смогли выжить только те представители вида, которые могли делать простые орудия, с помощью которых добывали пищу и защищались от врагов. Позже важным этапом стал групповой образ жизни и взаимоотношения друг с другом, как у гоминид (высокоорганизованное семейство человекообразных обезьян).

В борьбе за выживание оставались только те группы, которые могли добывать пищу и защищаться от врагов. Индивидуальный отбор сформировал морфофизиологические особенности человека.

Сформировались такие признаки, как ходьба, позволившая освободить руки, наблюдалось развитие мозга. Совместное влияние индивидуального и группового отбора называется *социальным отбором*. Первоначально биосоциальный отбор проходил в небольших группах семей или в нескольких семьях, но позже перешел в большие группы или племена. Как отметил Д. К. Беляев, увеличение изменчивости в популяции является материалом для отбора.

Роль труда в развитии Человека сознательного. Основными особенностями развития человека являются развитие центральной нервной системы, важность рук в работе движений, развитие речи и появление структуры общества, — все это результат трудовой деятельности.

Эпоха протоантропов. По расчетам ученых, представители протоантропов жили 1 млн. 750 тыс. лет назад. Им было присуще прямохождение; объем головного мозга составлял 530 см³. Являются ли они предками современного человека, пока неизвестно.

Эпоха архантропов. Эти питекантропы жили 1—1,3 млн. лет назад. Размер мозга у них составлял 800—1200 см³. Изучение только анатомических признаков не дает объяснения происхождению человека. Важную роль в прогрессивном развитии людей сыграли их трудовая деятельность, взаимоотношения внутри и между группами, появление речи.

Прямохождение привело к двум большим ароморфозам в эволюции человека. Первое — это освобождение рук, второе — из-за прямохождения стало возможным восприятие большего объема информации. Информативность и трудовая деятельность привели к усиленному развитию мозга. Увеличение объема мозга стимулировало развитие как трудовой деятельности, так и речевой активности. Представители Homo erectus могли изготавливать разные орудия из дерева и камня. Они начали использовать огонь, чтобы приготовить еду.

Эпоха палеоантропов, или неандертальцы, как связующее звено между *Homo erectus* и современным человеком. Размер их мозга составлял 1200—1400 см³.

Эпоха неантропов (современный тип) (рис. 166). Еще до конца не изучено, где и от какого вида неандертальцев произошел современный человек (*Homo sapiens*). Ранних представителей современного человека называют кроманьонцами. В связи с развитием трудовой деятельности и речевых навыков мозг неантропа, или кроманьонца, становится хорошо развитым. В формировании Человека разумного прослеживаются две основные вехи: определенный морфологический тип и возрастающий уровень культуры. После того как был сформирован морфологический тип нового человека, его биологическая эволюция постепенно снижалась, но началось социальное развитие.

В эволюционном отношении появление человека является очень большим антропоморфозом, который характеризуется специфическими закономерностями. Основной закон антропогенеза — это устойчивый темп развития. Эволюция австрополопитеков длилась 7 млн. лет, а *Homo erectus* — в течение 1—1,3 млн лет, у неандертальца — 200—500 тыс. лет, а современный человек — *Homo sapiens* — появился через 40 тыс. лет. Филогенетическое развитие гоминид — яркий пример мозаичной эволюции. Она продемонстрировала темпы развития органов и систем органов. Быстрое развитие мозга началось с *Homo habilis*. Перед прогрессивной эволюцией мозга в связи с прямохождением шло формирование структуры человеческого тела.

Характерная особенность антропогенеза — движение в одном направлении, связанное с прямохождением, в результате чего накопи-

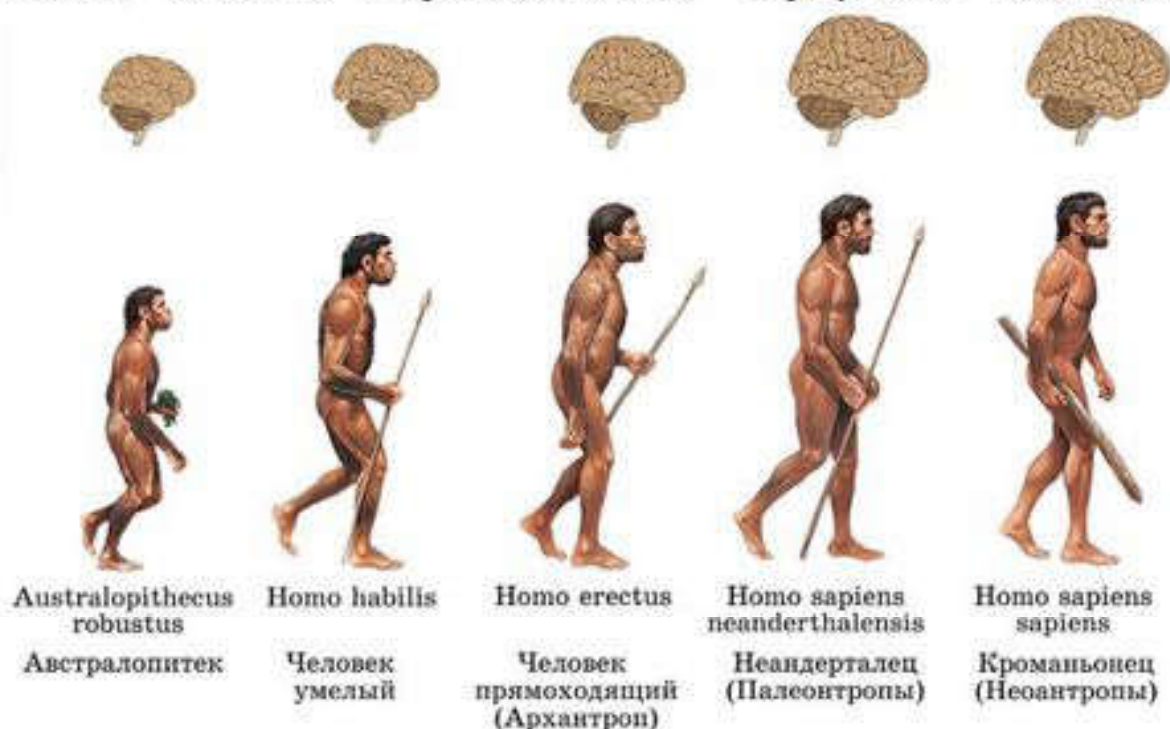


Рис. 166. Этапы антропогенеза

валясь информация о среде обитания. Была развита организационная структура. Однако надо сказать, что эволюция животных проходила не строго направленно, как антропогенез. Генеалогия потомков гоминид схожа с генеалогией лошадей.

В настоящее время, несмотря на морфофизиологическое разнообразие человечества, среди рас нет генетической изоляции и все люди относятся к одному биологическому виду.



Проверьте свои знания:



1. Что такое *антропология*? Дайте объяснение.
2. Дайте определение понятию "антропогенез".
3. Какие движущие силы антропогенеза вы знаете?
4. В чем разница между архантропом и неантропом?
5. Что вы знаете про палеоантропов, протоантропов?



Заполните таблицу в тетради.

№	Этапы антропогенеза	Описание



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБОБЩЕНИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИИ ЗНАНИЙ ПО РАЗДЕЛУ

1. Что такое эволюция? Каких ученых, внесших вклад в учение эволюции, вы знаете?
2. Дайте описание понятиям *биологический прогресс* и *биологический регресс*, приведите пример.
3. Роль араморфоза, идиоадаптации и дегенерации в развитии эволюции.
4. Какие две группы эволюционного процесса вы знаете? Можете привести пример.
5. Расскажите об основной концепции развития эволюции.
6. Что такое фенотипическая и генотипическая изменчивость? Охарактеризуйте.
7. В чем значение закона гомологических рядов в наследственной изменчивости? Кто открыл?
8. Объясните связь естественного отбора и борьбы за существование.
9. Приведите пример видов борьбы за существование.
10. Для чего нужен искусственный отбор? Объясните.
11. Что такое дрейф генов? Каково его значение?
12. Что такое популяция? Особенность ее связи с изолированием?
13. Дайте определение видам изолирования.
14. Расскажите о различии гомологичных и аналогичных органах.
15. Расскажите о сравнительно-анатомических доказательствах в развитии эволюции.
16. Дайте определение терминам *атавизм*, *рудимент*, приведите примеры.
17. Объясните с приведением примера палеонтологическое доказательство эволюционного развития.
18. Какие имеются другие доказательства эволюционного развития? Назовите.
19. Сколько периодов развития жизни на Земле существует? Дайте краткое описание каждого периода.
20. Какие взгляды и теории появления жизни на Земле имеются?
21. В чем значение гипотезы А. Опарина и Дж. Холдейна?
22. Что такое *дендрограмма*, *хронограмма*, *филограмма*, *кладограмма*?
23. Кто основал теорию об универсальном последнем предке? Дайте описание структуры и свойств.
24. Каким критериям должны отвечать методы составления эволюционного дерева? Назовите критерии, опишите их.
25. Какие различия имеют *дивергенция* и *конвергенция*? Дайте их определения.
26. Что такое аллогенез и арогенез? Их значение?
27. Дайте описание видообразованию.
28. Какую связь имеют макро- и микроэволюция с видообразованием?
29. Перечислите основные формы репродуктивной изоляции.
30. Что такое селекция? Дайте характеристику центрам происхождения культурных растений.

10

КООРДИНАЦИЯ И РЕГУЛЯЦИЯ

§ 100. СТРОЕНИЕ НЕРВНЫХ КЛЕТОК

Сегодня на уроке вы:

- изучите строение нервных клеток;
- научитесь описывать и объяснять инициацию и трансмиссию потенциала действия в миелинизированных аксонах нейронов.

Знаете ли вы?

- Что является структурной и функциональной единицей нервной системы? Чем образовано серое вещество мозга? Из чего состоит белое вещество мозга? Какое строение имеет нейрон? Какие типы нейронов бывают?

Ключевые понятия:

- нейрон
- нейромедиаторы
- дендриты
- аксон
- сома
- ядро
- органоиды нейрона:
 - аппарат Гольджи
 - митохондрии
 - лизосомы
 - нейротрубочки

Структурной и функциональной единицей нервной системы является нервная клетка — нейрон. *Нейроны — специализированные клетки, способные принимать, обрабатывать, кодировать, передавать и хранить информацию, организовывать реакции на раздражения, устанавливать контакты с другими нейронами, клетками органов.* Уникальными особенностями нейрона являются способность генерировать электрические разряды и передавать информацию с помощью специализированных

окончаний — синапсов. Выполнению функций нейрона способствует синтез в его аксоплазме веществ-передатчиков — *нейромедиаторов* : ацетилхолина, катехоламинов и др. Размеры нейронов колеблются от 6 до 120 мкм. Число нейронов мозга человека приближается к 10^{11} . На одном нейроне может быть до 10 000 синапсов (рис. 167).

Нейроны, организующие единую функцию, образуют так называемые группы, популяции, ансамбли, колонки, ядра. В коре большого мозга, мозжечке нейроны формируют *слои клеток*. Каждый слой имеет свою специфическую функцию. Клеточные скопления образуют *серое вещество мозга*. Между ядрами, группами клеток и между отдельными клетками проходят *миелинизированные или немиелинизированные волокна* : аксоны и дендриты.

Миелиновая оболочка — электронизолирующая оболочка, покрывающая аксоны многих нейронов. Миелиновую оболочку образуют глиальные клетки: в периферической нервной системе — шванновские клетки, в центральной нервной системе — олигодендроциты. Миелиновая оболочка формируется из плоского выроста тела глиальной клетки, многократно оборачивающего аксон подобно изоляционной ленте. Цитоплазма в выросте практически отсутствует, в результате чего миелиновая оболочка представляет собой, по сути, множество слоев клеточной мембраны.

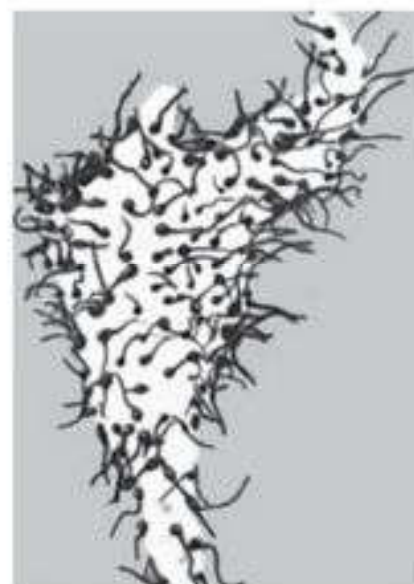


Рис. 167. Расположение синапсов на теле нейрона и его дендритах

Строение нейрона. Функционально в нейроне выделяют следующие части: *воспринимающую* — дендриты, мембрана сомы нейрона; *интегративную* — сома с аксонным холмиком; *передающую* — аксонный холмик с аксоном. **Дендриты** — основное воспринимающее поле нейрона (рис. 168).

Тело нейрона (сома), помимо информационной, выполняет *трофическую функцию* относительно своих отростков и их синапсов. Перерезка аксона или дендрита ведет к гибели отростков, лежащих от срединной перерезки, а следовательно, и синапсов этих отростков.

Сома обеспечивает также рост дендритов и аксона. Сома нейрона заключена в многослойную мембрану, обеспечивающую формирование и распространение электротонического потенциала к аксонному холмику. Нейроны способны выполнять свою информационную функцию в основном благодаря тому, что их мембрана обладает особыми свойствами.

Мембрана нейрона имеет толщину 6 нм и состоит из двух слоев липидных молекул, которые своими гидрофильными концами обращены в сторону водной фазы: один слой молекул обращен внутрь, другой — наружу клетки.

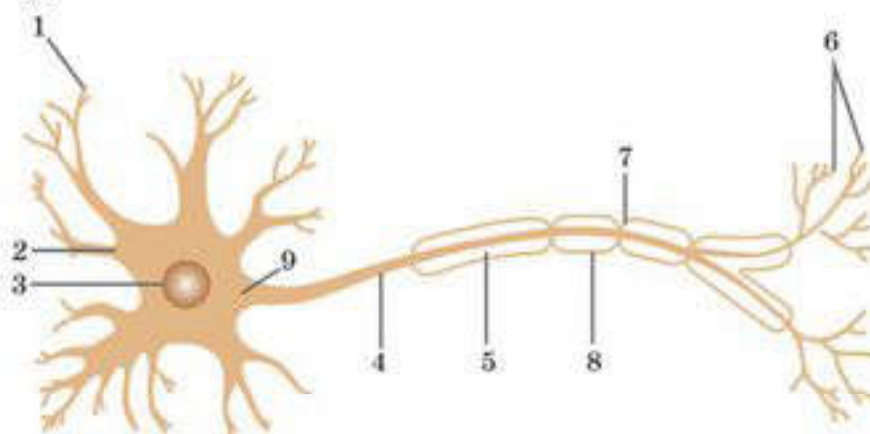


Рис. 168. Строение нейрона:

1 — дендриты; 2 — тело клетки; 3 — ядро; 4 — аксон; 5 — миелиновая оболочка; 6 — ветви аксона — рецепторы; 7 — перехват Ранвье; 8 — неврилемма; 9 — аксонный холмик

Гидрофобные концы повернуты друг к другу — внутрь мембраны. Белки мембраны встроены в двойной липидный слой и выполняют несколько функций. Белки-“насосы” обеспечивают перемещение ионов и молекул против градиента концентрации в клетке. Белки, встроены в каналы, обеспечивают избирательную проницаемость мембраны. Рецепторные белки распознают нужные молекулы и фиксируют их на мембране. Ферменты, располагаясь на мембране, облегчают протекание химических реакций на поверхности нейрона.

Пластинчатый комплекс (аппарат Гольджи) — органелла нейрона, окружает ядро в виде сети. Пластинчатый комплекс участвует в синтезе нейросекреторных и других биологически активных соединений клетки.

Лизосомы и их ферменты обеспечивают в нейроне гидролиз ряда веществ. Пигменты нейронов — *меланин* и *липофусцин* находятся в нейронах черного вещества среднего мозга, в ядрах блуждающего нерва, клетках симпатической нервной системы.

Митохондрии — органеллы, обеспечивающие энергетические потребности нейрона. Они играют важную роль в клеточном дыхании. Их больше всего у наиболее активных частей нейрона: аксонного холмика в области синапсов. При активной деятельности нейрона количество митохондрий возрастает. Нейротрубочки пронизывают сому нейрона и принимают участие в хранении и передаче информации. Ядро нейрона окружено пористой двухслойной мембраной. Через поры происходит обмен между нуклеоплазмой и цитоплазмой.

Типы нейронов. Строение нейронов в значительной мере соответствует их функциональному назначению. По строению нейроны делят на три типа: *униполярные*, *биполярные* и *мультиполярные* (рис. 169). Истинно униполярные нейроны находятся только в мезэнцефалическом ядре

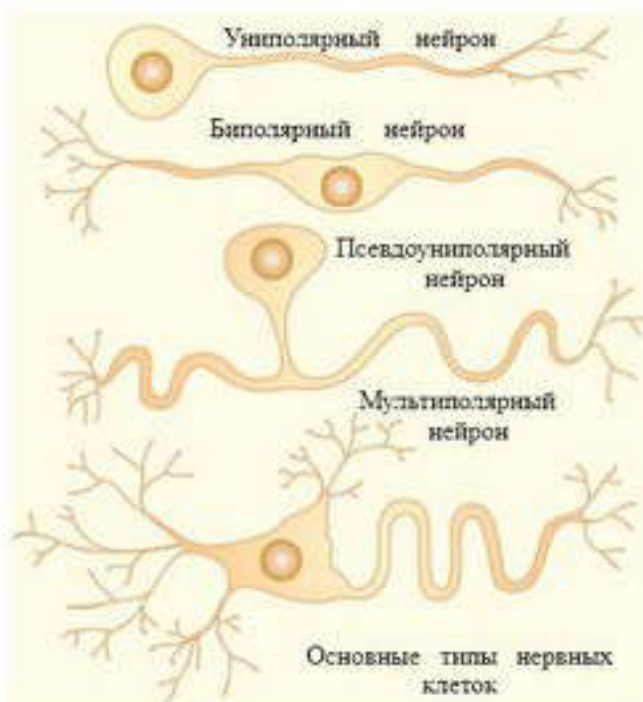


Рис. 169. Типы нейронов

тройничного нерва. Эти нейроны обеспечивают проприоцептивную чувствительность жевательных мышц. Другие униполярные нейроны называют псевдоуниполярными, на самом деле они имеют два отростка (один идет с периферии от рецепторов, другой — в структуры центральной нервной системы). Оба отростка сливаются вблизи тела клетки в единый отросток. Все эти клетки располагаются в сенсорных узлах: спинальных, тройничном и т. д. Они обеспечивают восприятие болевой, температурной, тактильной, проприоцептивной, бароцептивной, вибрационной сигнализации.

Биполярные нейроны имеют один аксон и один дендрит. Нейроны этого типа встречаются в основном в периферических частях зрительной, слуховой и обонятельной систем. Биполярные нейроны дендритом связаны с рецептором, аксоном — с нейроном следующего уровня организации соответствующей сенсорной системы. Мультиполярные нейроны имеют несколько дендритов и один аксон. В настоящее время насчитывают до 60 различных вариантов строения мультиполярных нейронов, однако все они представляют разновидности веретенообразных, звездчатых, корзинчатых и пирамидных клеток.

Обмен веществ в нейроне. Необходимые питательные вещества и соли доставляются в нервную клетку в виде водных растворов. Продукты метаболизма также удаляются из нейрона в виде водных растворов.



Проверьте свои знания:



1. Назовите структурную и функциональную структуру нервной ткани.
2. Какая роль принадлежит нейрону?
3. Назовите уникальные способности нейрона.
4. Какое строение имеет нейрон?
5. Сколько синапсов может быть на одном нейроне?
6. Каково строение мембраны нейрона?
7. Какие функции выполняют белки мембраны? Приведите примеры.
8. Назовите функции органоидов нейрона.



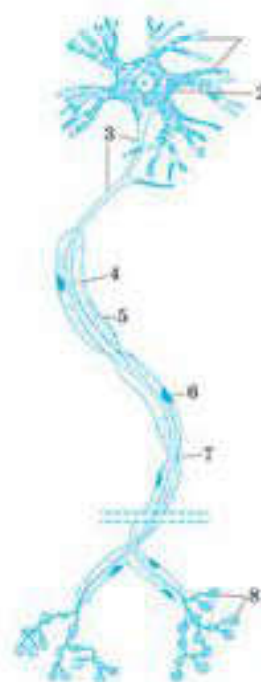
Дайте характеристику каждому типу нейронов: униполярному, биполярному, мультиполярному.



Рассмотрите рисунок "Строение нейрона". Дайте характеристику позициям указателей 1—8.



Заполните в тетради таблицу.



Функции органоидов нейрона

Органоид	Выполняемые функции
Комплекс Гольджи	
Митохондрии	
Лизосомы	
Нейротрубочки	
Ядро	

Интересно знать!

Человеческий мозг генерирует за день больше электрических импульсов, чем все телефоны мира вместе взятые. В головном мозге человека за одну секунду протекает 100 000 химических реакций.

Ежесекундно через сосуды мозга проходит 3/4 л крови, а общая длина всех сосудов полушарий составляет 560 км.

§ 101. МЕМБРАННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ. ПОТЕНЦИАЛ ДЕЙСТВИЯ

Сегодня на уроке вы:

- изучите мембранный потенциал, потенциал действия;
- научитесь описывать и объяснять инициацию и трансмиссию потенциала действия в миелинизированных аксонах нейронов.

Знаете ли вы?

- Что такое потенциал действия? Различаются ли потенциалы действия по своим параметрам? Какие явления лежат в основе потенциала действия? В каких случаях мембрана клетки может менять свою проницаемость?

Ключевые понятия:

- потенциал действия
- предспайк
- пиковый потенциал, или спайк
- отрицательный следовой потенциал
- положительный следовой потенциал
- потенциал покоя

Потенциал действия — волна возбуждения, перемещающаяся по мембране живой клетки в процессе передачи нервного сигнала. По сути своей он представляет электрический разряд — быстрое кратковременное изменение потенциала на небольшом участке мембраны возбудимой клетки (нейрона, мышечного волокна или железистой клетки), в результате которого наружная поверхность этого участка становится отрицательно заряженной по отношению к соседним участкам мембраны, тогда

как его внутренняя поверхность становится положительно заряженной по отношению к соседним участкам мембраны. Потенциал действия является физической основой нервного или мышечного импульса, играющего сигнальную (регуляторную) роль (рис. 170).

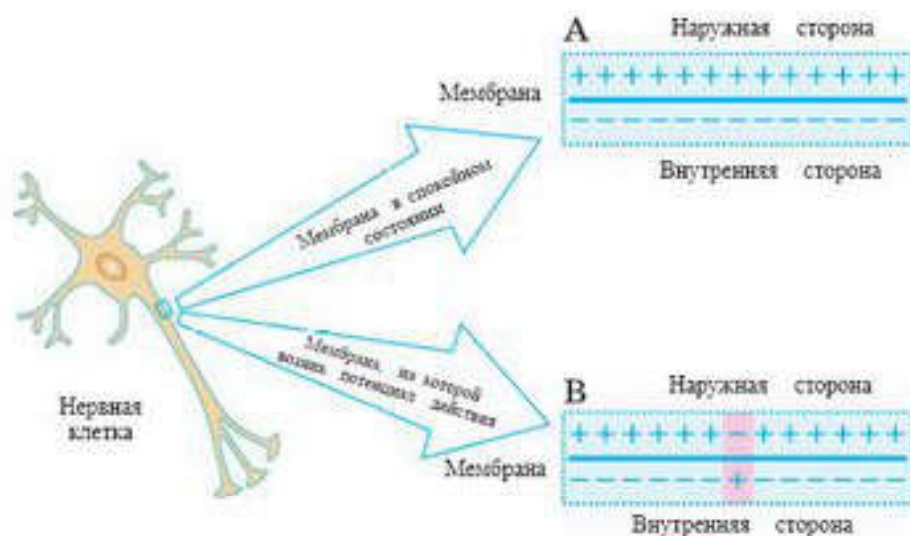


Рис. 170. Схема распределения зарядов по разные стороны мембраны возбудимой клетки:

А — в спокойном состоянии; В — при возникновении потенциала действия.

Потенциалы действия могут различаться по своим параметрам в зависимости от типа клетки и даже на различных участках мембраны одной и той же клетки. Наиболее характерный пример различий: потенциал действия сердечной мышцы и потенциал действия большинства нейронов. Тем не менее, в основе любого потенциала действия лежат следующие явления:

1. Мембрана живой клетки поляризована — ее внутренняя поверхность заряжена отрицательно по отношению к внешней благодаря тому, что в растворе возле ее внешней поверхности находится большее количество положительно заряженных частиц (катионов), а возле внутренней поверхности — большее количество отрицательно заряженных частиц (анионов).

2. Мембрана обладает избирательной проницаемостью — ее проницаемость для различных частиц (атомов или молекул) зависит от их размеров, электрического заряда и химических свойств.

3. Мембрана возбудимой клетки способна быстро менять свою проницаемость для определенного вида катионов, вызывая переход положительного заряда с внешней стороны на внутреннюю (рис. 171).

Первые два свойства характерны для всех живых клеток. Третье свойство является особенностью клеток возбудимых тканей и причиной, по которой их мембраны способны генерировать и проводить потенциалы действия.

Фазы потенциала действия:

1. Предспайк — процесс медленной деполяризации мембраны до критического уровня деполяризации (местное возбуждение, локальный ответ).

2. Пиковый потенциал, или спайк, состоящий из восходящей части (деполяризация мембраны) и нисходящей части (реполяризация мембраны).

3. Отрицательный следовой потенциал — от критического уровня деполяризации до исходного уровня поляризации мембраны (следовая деполяризация).

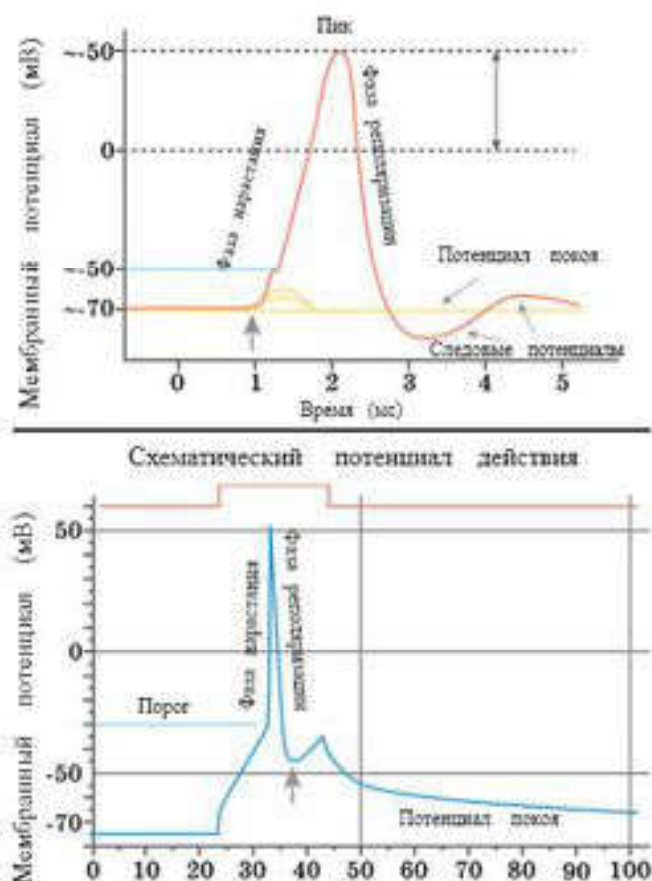


Рис. 171. Биоэлектрические потенциалы на мембране клетки

4. Положительный следовой потенциал — увеличение мембранного потенциала и постепенное возвращение его к исходной величине (следовая гиперполяризация).

Поляризация мембраны живой клетки обусловлена отличием ионного состава с ее внутренней и наружной стороны. Когда клетка находится в спокойном (невозбужденном) состоянии, ионы по разные стороны мембраны создают относительно стабильную разность потенциалов, называемую *потенциалом покоя*. Если ввести внутрь живой клетки электрод и измерить мембранный потенциал покоя, он будет иметь отрицательное значение порядка $(-70) - (-90)$ мВ. Это объясняется тем, что суммарный заряд на внутренней стороне мембраны существенно меньше, чем на внешней, хотя с обеих сторон содержатся и катионы, и анионы. Снаружи на порядок больше ионов натрия, кальция и хлора, внутри — ионов калия и отрицательно заряженных белковых молекул, аминокислот, органических кислот, фосфатов, сульфатов. Надо понимать, что речь идет именно о заряде поверхности мембраны, в целом среда и внутри, и снаружи клетки заряжена нейтрально.

Потенциал мембраны может изменяться под действием различных стимулов. Искусственным стимулом может служить электрический ток, подаваемый на внешнюю или внутреннюю сторону мембраны через электрод. В естественных условиях стимулом часто служит химический сигнал от соседних клеток, поступающий через синапс или путем диффузной передачи через межклеточную среду. Смещение мембранного потенциала может происходить в отрицательную (*гиперполяризация*) или положительную (*деполяризация*) сторону.

В нервной ткани потенциал действия, как правило, возникает при деполяризации — если деполяризация мембраны нейрона достигает некоторого порогового уровня или превышает его, клетка возбуждается, и от ее тела к аксонам и дендритам распространяется волна электрического сигнала. (В реальных условиях на теле нейрона обычно возникают постсинаптические потенциалы, которые сильно отличаются от потенциала действия по своей природе, например, они не подчиняются принципу “все или ничего”. Эти потенциалы преобразуются в потенциал действия на особом участке мембраны — аксонном холмике, так что потенциал действия не распространяется на дендриты.) Это обусловлено тем, что на мембране клетки находятся ионные каналы — белковые молекулы, образующие в мембране поры, через которые ионы могут проходить с внутренней стороны мембраны на наружную и наоборот. Большинство каналов ионспецифичны — натриевый канал пропускает практически только ионы натрия и не пропускает другие (это явление называют селективностью). Мембрана

клеток возбудимых тканей (нервной и мышечной) содержит большое количество *потенциал-зависимых* ионных каналов, способных быстро реагировать на смещение мембранного потенциала. Деполяризация мембраны в первую очередь вызывает открытие потенциал-зависимых натриевых каналов. Когда одновременно открывается достаточно много натриевых каналов, положительно заряженные ионы натрия устремляются через них на внутреннюю сторону мембраны. Движущая сила в данном случае обеспечивается градиентом концентрации (с внешней стороны мембраны находится намного больше положительно заряженных ионов натрия, чем внутри клетки) и отрицательным зарядом внутренней стороны мембраны (рис. 170). Поток ионов натрия вызывает еще большее и очень быстрое изменение мембранного потенциала, которое и называют *потенциалом действия* (в специальной литературе обозначается ПД).

Согласно закону “все или ничего” мембрана клетки возбудимой ткани либо не отвечает на стимул совсем, либо отвечает с максимальной для нее на данный момент силой; т. е. если стимул слишком слаб и порог не достигнут, потенциал действия не возникает совсем; в то же время, пороговый стимул вызовет потенциал действия такой же амплитуды, как и стимул, превышающий пороговый. Это отнюдь не означает, что амплитуда потенциала действия всегда одинакова, т. е. один и тот же участок мембраны, находясь в разных состояниях, может генерировать потенциалы действия разной амплитуды.

После возбуждения нейрон на некоторое время оказывается в состоянии абсолютной рефрактерности, когда никакие сигналы не могут возбудить его снова, затем входит в фазу относительной рефрактерности, когда его могут возбудить исключительно сильные сигналы (при этом амплитуда потенциала действия будет ниже, чем обычно). Рефрактерный период возникает из-за инактивации быстрого натриевого тока, т. е. инактивации натриевых каналов.

Одностороннее проведение потенциала действия обеспечивается свойствами натриевых каналов — после открывания они на некоторое время инактивируются и не могут открыться ни при каких значениях мембранного потенциала. Поэтому на ближнем к телу клетки участке, где до этого уже “прошел” потенциал действия, он не возникает.

При прочих равных условиях распространение потенциала действия по аксону происходит тем быстрее, чем больше диаметр волокна. По гигантским аксонам кальмара потенциал действия может распространяться почти с такой же скоростью, как и по миелинизированным волокнам позвоночных (около 100 м/с).



Проверьте свои знания:



1. Потенциал действия – это...
2. Какие явления лежат в основе потенциала действия?
3. Назовите фазы потенциала действия и проследите это по рисункам 170, 171.
4. Зависит ли скорость проведения мембранного потенциала от толщины нервных волокон? Обоснуйте. Какие волокна толще?



Потенциал покоя — это...



Расскажите, что изображено на графике.



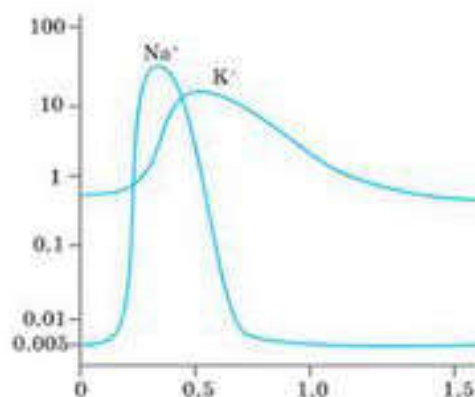
Почему так важна миелинизация нервных волокон? Где возникает потенциал действия?



Когда возникает стабильная разность потенциалов?



Подготовьте сообщение по теме параграфа.



§ 102. ИНИЦИАЦИЯ И ТРАНСМИССИЯ ПОТЕНЦИАЛА ДЕЙСТВИЯ. ПЕРЕДАЧА ИМПУЛЬСА ВДОЛЬ АКСОНА НЕЙРОНА

Сегодня на уроке вы:

- изучите инициацию и трансмиссию потенциала действия, передачу импульса вдоль аксона нейрона;
- научитесь описывать и объяснять инициацию и трансмиссию потенциала действия в миелинизированных аксонах нейронов.

Знаете ли вы?

- Как передается нервный импульс? Какую роль играет при этом мембрана живой клетки? Какая проницаемость характерна для живой клетки? Может ли изменяться проницаемость клетки от определенного вида катионов?

Ключевые понятия:

- натрий-калиевый насос
- нейромедиаторы
- синапс

По аксонам нервная клетка передает сигналы на другие нейроны. Конец аксона может многократно ветвиться, и каждая из этих более мелких ветвей способна соединиться со следующим нейроном (рис. 172).

Во внешнем слое аксона находится сложная структура, образованная множеством молекул, выступающих в роли каналов, по которым могут поступать ионы — как внутрь, так и наружу клетки. Один конец этих

молекул, отклоняясь, присоединяется к атому-мишени. После этого энергия других частей клетки используется на то, чтобы вытолкнуть этот атом за пределы клетки, тогда как процесс, действующий в обратном направлении, вводит внутрь клетки другую молекулу. Наибольшее значение имеет молекулярный насос, который выводит из клетки ионы натрия и вводит в нее ионы калия (натрий-калиевый насос) (рис. 173).

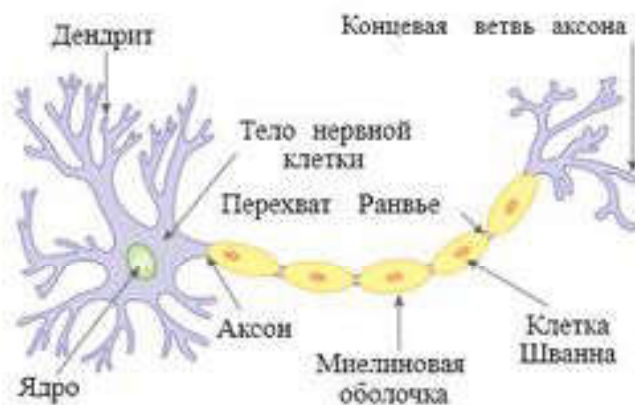


Рис. 172. Аксон, состоящий из шванновских клеток

Когда клетка находится в покое и не проводит нервных импульсов, *натрий-калиевый* насос перемещает ионы калия внутрь клетки и выводит ионы натрия наружу (представьте себе клетку, содержащую пресную воду и окруженную соленой водой). Из-за такого дисбаланса разность потенциалов на мембране аксона достигает 70 милливольт (приблизительно 5% от напряжения обычной батарейки АА).

Однако при изменении состояния клетки и стимуляции аксона электрическим импульсом равновесие на мембране нарушается, и натрий-калиевый насос на короткое время начинает работать в обратном направлении. Положительно заряженные ионы натрия проникают внутрь аксона, а ионы калия откачиваются наружу. На мгновение внутренняя среда аксона приобретает положительный заряд. При этом каналы натрий-калиевого насоса деформируются, блокируя дальнейший приток натрия, а ионы калия продолжают выходить наружу, и исходная разность потенциалов восстанавливается. Тем временем ионы натрия распространяются внутри аксона, изменяя мембрану в нижней части аксона. При этом состояние расположенных ниже насосов меняется, способствуя дальнейшему распространению импульса. Резкое измене-

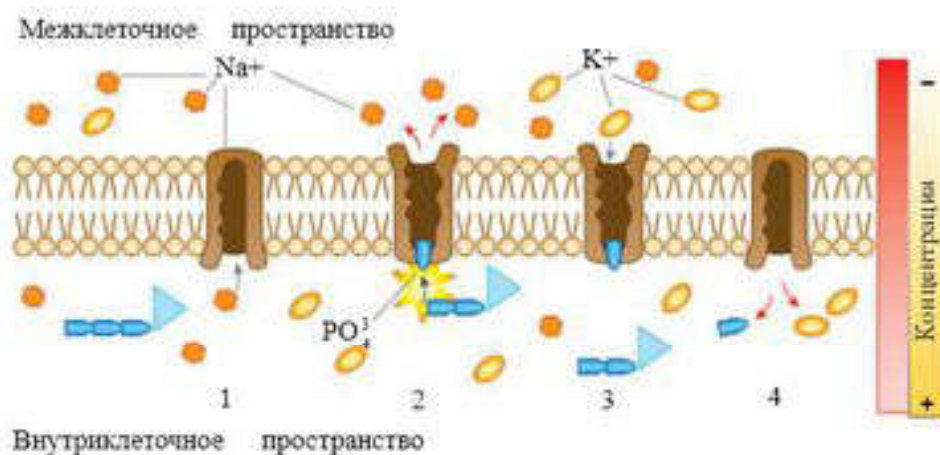


Рис. 173. Натрий-калиевый насос

ние напряжения, вызванное стремительными перемещениями ионов натрия и калия, называют *потенциалом действия*. При прохождении потенциала действия через определенную точку аксона, насосы включаются и восстанавливают состояние покоя.

Потенциал действия распространяется довольно медленно, не более доли дюйма за секунду. Для того чтобы увеличить скорость передачи импульса (поскольку, в конце концов, не годится, чтобы сигнал, посланный мозгом, достигал руки лишь через минуту), аксоны окружены оболочкой из миелина, препятствующей притоку и оттоку калия и натрия. *Миелиновая оболочка* не непрерывна, через определенные интервалы в ней есть разрывы, и нервный импульс перескакивает из одного "окна" в другое, за счет этого скорость передачи импульса возрастает.

Когда импульс достигает конца основной части тела аксона, его необходимо передать либо следующему нижележащему нейрону, либо, если речь идет о нейронах головного мозга, по многочисленным ответвлениям многим другим нейронам. Для такой передачи используется абсолютно иной процесс, нежели для передачи импульса вдоль аксона. Каждый нейрон отделен от своего соседа небольшой щелью, называемой *синапсом*. Потенциал действия не может перескочить через эту щель, поэтому нужно найти какой-то другой способ для передачи импульса следующему нейрону. В конце каждого отростка имеются крошечные мешочки, так называемые (пресинаптические) пузырьки, в каждом из которых находятся особые соединения — *нейромедиаторы*. При поступлении потенциала действия из этих пузырьков высвобождаются молекулы нейромедиаторов, пересекающие синапс и присоединяющиеся к специфичным молекулярным рецепторам на мембране нижележащих нейронов. При присоединении нейромедиатора равновесие на мембране нейрона нарушается. Сейчас мы рассмотрим, возникает ли при таком нарушении равновесия новый потенциал действия (нейрофизиологи продолжают искать ответ на этот важный вопрос до сих пор) (рис. 174).



Рис. 174. Синапс

После того как нейромедиаторы передадут нервный импульс от одного нейрона на следующий, они могут просто диффундировать, или подвергнуться химическому расщеплению, или вернуться обратно в свои пузырьки (этот процесс называется *обратным захватом*). В конце XX в. было сделано поразительное научное открытие — оказывается, лекарства, влияющие на выброс и обратный захват

нейромедиаторов, могут коренным образом изменять психическое состояние человека. Препарат прозак и сходные с ним антидепрессанты блокируют обратный захват нейромедиатора серотонина. Складывается впечатление, что болезнь Паркинсона взаимосвязана с дефицитом нейромедиатора дофамина в головном мозге. Исследователи, изучающие пограничные состояния в психиатрии, пытаются понять, как эти соединения влияют на человеческий рассудок.

По-прежнему нет ответа на фундаментальный вопрос о том, что же заставляет нейрон инициировать потенциал действия — выражаясь профессиональным языком нейрофизиологов, неясен механизм “запуска” нейрона. В этом отношении особенно интересны нейроны головного мозга, которые могут принимать нейромедиаторы, посланные тысячей соседей. Об обработке и интеграции этих импульсов почти ничего не известно, хотя над этой проблемой работают многие исследовательские группы. Нам известно лишь, что в нейроне осуществляется процесс интеграции поступающих импульсов и выносится решение, следует или нет инициировать потенциал действия и передавать импульс дальше. Этот фундаментальный процесс управляет функционированием всего головного мозга. Неудивительно, что эта величайшая загадка природы остается, по крайней мере сегодня, загадкой и для науки!



Проверьте свои знания:



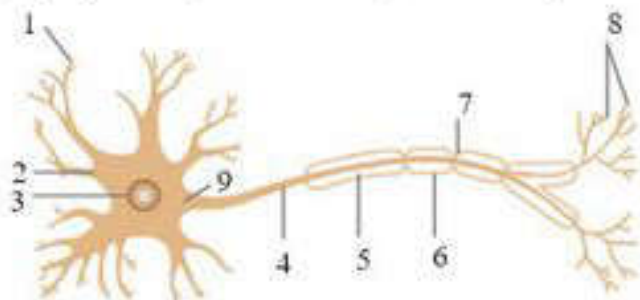
1. По каким структурам поступают ионы, как внутрь клетки, так и наружу? Чем образованы эти структуры?
2. Какую роль в этом играет натрий-калиевый насос? Обоснуйте его действие.
3. Чем отделен нейрон от нейрона?
4. Каково действие пресинаптических пузырьков?



1. Нейромедиатор — это...
2. Как ведут себя нейромедиаторы после передачи нервного импульса?



Покажите по рисунку, как происходит передача импульса по аксону нейрона.



Подготовьте электронную презентацию по теме урока.

§ 103. РЕФРАКТЕРНЫЙ ПЕРИОД И ЕГО РОЛЬ

Сегодня на уроке вы:

- изучите рефрактерный период и его роль;
- научитесь объяснять значение рефрактерного периода и миелиновой оболочки.

Знаете ли вы?

- Что такое рефрактерный период? У каких клеток он более длительный — у нервных или мышечных? Какое объяснение можно дать этому явлению?

Ключевые понятия:

- рефрактерный период
- роль рефрактерного периода
- изотоническое сокращение
- изометрическое сокращение
- тетаническое сокращение
- контрактуры мышц

Рефрактерный период (в физиологии, неврологии) — это состояние полной невозбудимости нервной клетки или мышечного волокна сразу же после развития потенциала действия, когда возбуждение не возникает ни при каком раздражении (абсолютный рефрактерный период). Во время этого периода обычные раздражители не могут привести к возбуждению клетки, которая претерпевает реполяризацию. За ним следует

относительный рефрактерный период, когда путем значительной депполяризации все же можно вызвать потенциал действия.

Рефрактерный период мышечной ткани более продолжителен, чем рефрактерный период нервной ткани. Длительность рефрактерного периода нерва 14 мс, а поперечно-полосатой мышцы — около 35 мс.

Лабильность мышечной ткани значительно ниже, чем лабильность нервной. Действительно, икроножная мышца лягушки может воспроизводить 200—250 волн возбуждения в 1 с, а седалищный нерв — 500—1000.

Под сократимостью следует понимать способность мышечного волокна изменять свою длину и степень напряжения в ответ на раздражение пороговой силы. При изотоническом сокращении (при неизменном напряжении) в основном изменяется длина мышечного волокна. Степень же напряжения его не претерпевает существенных изменений. При изометрическом сокращении (сокращение мышцы, выражающееся в усилении ее напряжения при неизменной длине) значительно возрастает напряжение мышечного волокна, длина же его практически не изменяется.

В целостном организме сокращение мышц никогда не бывает чисто изотоническим или чисто изометрическим, так, например, сгибая конечность в суставе, мышцы укорачиваются и вместе с тем меняют степень своего напряжения.

Одиночное мышечное сокращение, его фазы. Характер сокращения скелетной мышцы зависит от частоты раздражения (или от частоты поступления нервных импульсов). Различают одиночное и тетаническое сокращение мышц.

Раздражение мышцы, или иннервирующего ее двигательного нерва одиночным стимулом вызывает одиночное мышечное сокращение (рис. 175). Запись кривой одиночного мышечного сокращения производят на ленте кимографа. Сокращение начинается не тотчас же после нанесения раздражения, а через определенный промежуток времени, который называют латентным, или скрытым, периодом возбуждения. Следовательно, *латентный период* — время, прошедшее от нанесения раздражения до момента начала реакции мышцы. Латентный период одиночного сокращения икроножной мышцы лягушки составляет 0,01 с. Фаза сокращения длится 0,04 с, период расслабления более продолжителен, чем сокращение, и составляет 0,05 с. Продолжительность всего одиночного мышечного сокращения икроножной мышцы лягушки — 0,1—0,12 с.

Суммация мышечных сокращений, тетанус зубчатый и гладкий. В естественных условиях к мышечным волокнам поступают не одиночные, а ряд нервных импульсов, на которые мышца отвечает длительным сокращением. Длительное, слитное сокращение мышцы получило название *тетанического сокращения*, или *тетануса*. К тетаническому сокращению способны только скелетные мышцы. Гладкие мышцы и поперечно-полосатая мышца сердца неспособны к тетаническому сокращению вследствие наличия продолжительного рефрактерного периода.

Тетанус возникает вследствие суммации одиночных мышечных сокращений. Для того чтобы возник тетанус, необходимо действие повторных раздражений (или нервных импульсов) на мышцу еще до того, как закончится ее одиночное сокращение.

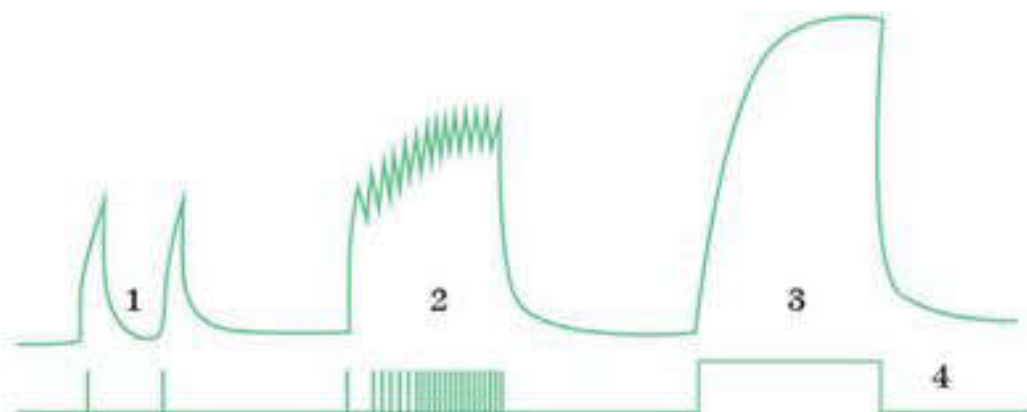


Рис. 175. Сокращение икроножной мышцы лягушки при разной частоте раздражений: 1 — одиночные сокращения; 2 — зубчатый тетанус; 3 — гладкий тетанус; 4 — отметки нанесения раздражений

Если раздражающие импульсы сближены и каждый из них приходится на тот момент, когда мышца только начала расслабляться, но не успела еще полностью расслабиться, то возникает зубчатый тип сокращения, который получил название неполного, несовершенного тетануса (рис. 175).

Если раздражающие импульсы сближены настолько, что каждый последующий приходится на время, когда мышца еще не успела перейти к расслаблению от предыдущего раздражения, т. е. происходит на высоте ее сокращения, то возникает длительное непрерывное сокращение, получившее название гладкого, совершенного тетануса.

Совершенный тетанус — нормальное рабочее состояние скелетных мышц. Он обуславливается нервными импульсами из центральной нервной системы с частотой 40—50 в 1 с. Зубчатый тетанус возникает при частоте нервных импульсов до 30 в 1 с. Если мышца получает 10—20 нервных импульсов в 1 с, то она находится в состоянии мышечного тонуса, т. е. умеренной степени напряжения.

Тетаническое сокращение скелетных мышц имеет преимущества перед одиночным сокращением: оно сильнее и продолжительнее, что дает возможность сохранить определенное положение тела, держать груз и т. д.

Кроме тетанического сокращения, встречается еще одна разновидность длительного сокращения мышц, которая получила название контрактуры. Контрактура продолжается и при снятии раздражителя. Контрактура мышцы наступает при нарушении обмена веществ или изменении свойств сократительных белков мышечной ткани.

Значение тетанического сокращения в трудовой деятельности человека чрезвычайно велико, о чем свидетельствует образное выражение крупного русского физиолога А. Ф. Самойлова: “все, что составляет наше богатство в индустрии и в искусстве, все, что сделано “руками” человека, сделано тетаническим сокращением мышцы. Только тетанусом мышца и служит нам: тетанус и есть миссия мышцы”.

Химические превращения в мышцах при сокращении. В основе мышечного сокращения лежит превращение химической энергии в механическую. Химические процессы, совершающиеся в мышце, могут происходить без кислорода и с его участием.

Кислородная (аэробная) фаза химических превращений связана с процессами окисления молочной кислоты до углекислого газа и воды. При этом расщепляется только до молочной кислоты. Выделяющаяся энергия используется для превращения оставшейся части молочной кислоты в глюкозу и далее в гликоген. Следовательно, несмотря на цепь сложнейших химических превращений, затраты организма при мышечном сокращении сводятся в конечном итоге к потере

части гликогена. В процессе сокращения не вся химическая энергия переходит в механическую, 40% ее превращается в тепловую.

Физиологические особенности гладких мышц. Гладкие мышцы образуют стенки (мышечный слой) внутренних органов и кровеносных сосудов.

Микроскопическое строение гладких и поперечно-полосатых мышц различно. В миофибриллах гладких мышц нет поперечной исчерченности. Это обусловлено хаотичным расположением сократительных белков в волокнах гладких мышц. Волокна гладких мышц относительно короче — от 50 до 200 мкм.

В связи с особенностями строения и уровня обменных процессов свойства гладких мышц значительно отличаются от физиологических свойств поперечно-полосатых мышц.

Гладкие мышцы менее возбудимы, чем поперечно-полосатые. Возбуждение по ним распространяется с небольшой скоростью — 2—15 см/с. Возбуждение в гладких мышцах может передаваться с одного волокна на другое, в отличие от нервных волокон и волокон поперечно-полосатых мышц.

Сокращение гладкой мускулатуры происходит более медленно и длительно. Так, сокращение гладкой мускулатуры кишечника кролика может продолжаться 5 с, еще более медленно протекает расслабление. Вследствие продолжительности сократительного акта гладкая мышца даже под влиянием редких раздражителей может переходить в состояние длительного сокращения, которое напоминает тетанус скелетных мышц. Характерными для гладких мышц являются также длительные тонические сокращения.

Рефрактерный период в гладких мышцах более продолжителен, чем в скелетных (до нескольких секунд).



Проверьте свои знания:



1. В чем заключается сущность рефрактерного принципа регуляции организма?
2. Какова роль изотонических сокращений мышц? Обоснуйте.
3. Что означает тетаническое сокращение? Какая здесь одна общая черта?
4. Какая ткань обладает более длительным рефрактерным периодом?
5. Обоснуйте, что значит контрактуры мышц.



Какова роль изометрических сокращений мышц? Охарактеризуйте.



1. Подготовьте презентацию по теме "Рефрактерный период и его роль".
2. На плотном листе бумаги цветными карандашами изобразите совершенный, зубчатый и умеренный тетанусы.



Какое объяснение можно дать рефрактерному периоду у мышечных и нервных клеток?



1. Абсолютный рефрактерный период — интервал, в течение которого возбудимая ткань не способна генерировать повторный потенциал действия (ПД), каким бы сильным ни был иницирующий стимул. Охарактеризуйте, что в это время происходит на мембранах клеток.
2. Относительный рефрактерный период — интервал, в течение которого возбудимая ткань постепенно восстанавливает способность формировать потенциал действия. В ходе относительного рефрактерного периода стимул, более сильный, чем тот, который вызвал первый ПД, может привести к формированию повторного ПД. Что в данном случае происходит на мембранах клеток?
3. Подготовьте сообщение и презентацию на тему "Рефрактерный период и его роль".

§ 104. ПРЕИМУЩЕСТВА МИЕЛИНИЗАЦИИ НЕЙРОНОВ

Сегодня на уроке вы:

- изучите преимущества миелинизации нейронов, сравнение миелинизированных и немиелинизированных нейронов;
- научитесь объяснять значение рефрактерного периода и миелиновой оболочки.

Знаете ли вы?

- Что такое миелиновая оболочка? В виде чего формируется миелиновая оболочка вокруг аксона? Как называется расстояние между двумя шванновскими клетками? Может ли осуществляться равномерное проведение нервного импульса по миелинизированным аксонам?

Ключевые понятия:

- миелиновая оболочка
- шванновская клетка
- сфингомиелин

Миелиновая оболочка формируется вокруг аксона шванновскими клетками. Мембрана шванновской клетки сначала охватывает аксон, затем шванновская клетка многократно вращается вокруг аксона, образуя многочисленные мембранные слои, содержащие

липидное вещество *сфингомиелин*. Это вещество является отличным изолятором и снижает ионный ток через мембрану аксона примерно в 5000 раз. Между каждыми двумя последовательно расположенными шванновскими клетками по ходу аксона остается маленькая неизолированная область длиной всего 2—3 мкм, где ионы могут свободно переходить через мембрану аксона из внеклеточной жидкости во внутриклеточную и обратно. Эту область называют перехватом Ранвье.

Сальтаторное проведение — скачкообразное проведение нервного импульса по мякотным (миелинизированным) нервам, оболочка которых обладает относительно высоким сопротивлением электрическому току. По длине нерва регулярно (через 1—2 мм) встречаются микроскопические "дефекты" миелиновой оболочки — перехваты Ранвье. Хотя по межперехватному участку нервный импульс распространяется электротонически, его затухание ослаблено изолирующими свойствами

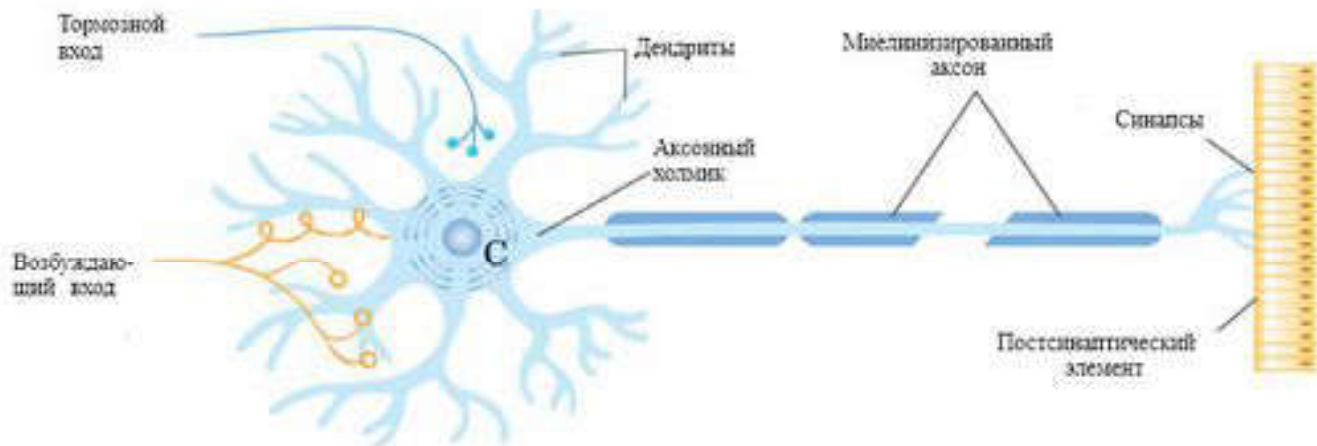


Рис. 176. Миелинизированный аксон нейрона

миелина (рис. 176). Достигнув следующего перехвата Ранвье, сигнал снова усиливается (вследствие генерации потенциала действия (см. Потенциал действия) до стандартного уровня. Таким образом, обеспечивается надежное и экономное проведение импульса по нервному волокну: он с большой скоростью как бы “перескакивает” с одного перехвата Ранвье на другой.

Сальтаторное распространение возбуждения в миелинизированном нервном волокне происходит от перехвата к перехвату (стрелками показано направление тока, возникающего между возбужденным участком (А) и соседним покоящимся участком (Б) (рис. 177). В перехватах Ранвье наблюдается высокая плотность натриевых и калиевых каналов).

Ионы практически не могут проходить через толстую миелиновую оболочку мягкотных волокон, однако они легко диффундируют через перехваты Ранвье (рис. 178). Следовательно, потенциалы действия возникают только в перехватах и проводятся от перехвата к перехвату; это называют сальтаторным (скачкообразным) проведением. В этом случае электрический ток течет через внеклеточную жидкость снаружи от миелиновой оболочки, а также через аксоплазму внутри аксона от перехвата к перехвату, последовательно возбуждая один перехват за другим. Таким образом, нервный импульс как будто прыгает по волокну, на основании этого и появился термин “сальтаторное проведение”.

Сальтаторное проведение имеет два преимущества. Первое, заставляя процесс деполяризации “прыгать” через большие промежутки вдоль аксона, этот механизм повышает скорость проведения в миелинизированных волокнах в

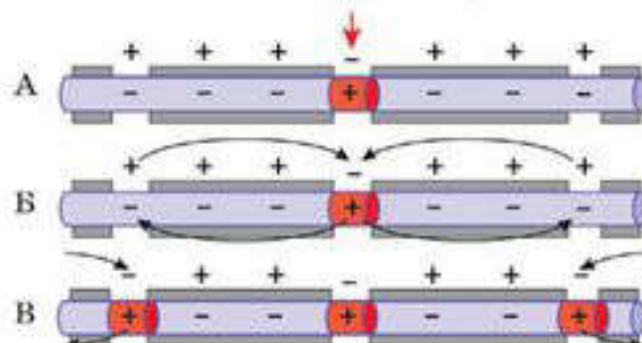


Рис. 177. Проведение возбуждения (ПД) по мягкотному (миелинизированному) нервному волокну — “сальтаторно” — прыжками от возбужденного участка к невозбужденному

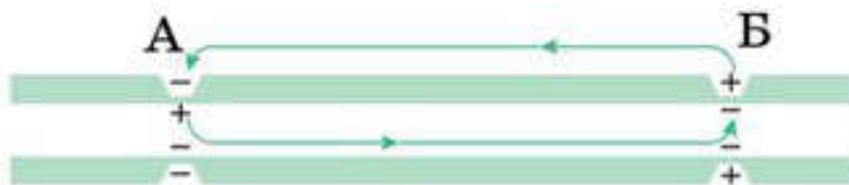


Рис. 178. Проведение возбуждения через перехваты Ранвье

5—50 раз. Второе, сальтаторное проведение сохраняет энергию для аксона, поскольку деполяризуются только перехваты, что позволяет приблизительно в 100 раз снизить потерю ионов по сравнению с возможными потерями в других условиях. В связи с этим снижаются траты энергии, необходимой для восстановления трансмембранной разности концентраций ионов натрия и калия после серии нервных импульсов.

Существует другая особенность сальтаторного проведения в крупных миелинизированных волокнах: отличная изоляция, обеспечиваемая миелиновой оболочкой, и 50-кратное снижение мембранной емкости позволяют осуществлять реполяризацию путем перемещения очень незначительного числа ионов.



Проверьте свои знания:



1. Чем образована миелиновая оболочка нервной клетки?
2. Какое липидное вещество входит в мембранные слои? Какова его роль?
3. Что собой представляют перехваты Ранвье, и какова их роль в проведении нервного импульса?
4. Как осуществляется скачкообразное проведение нервного импульса?
5. Как проводится по немиелинизированному волокну потенциал действия?
6. За счет чего увеличивается скорость проведения нервного импульса по миелинизированным волокнам? Обоснуйте по рисунку 177 учебника.
7. Расскажите и обоснуйте, как распространяется потенциал действия по миелинизированным волокнам.



В чем заключается экономичность скачкообразного проведения потенциала действия?



1. Изобразите рисунком или аппликацией шванновскую клетку и передачу возбуждения по миелинизированным волокнам.
2. Подготовьте презентацию "Сравнение миелинизированных и немиелинизированных нейронов".



Охарактеризуйте преимущества сальтаторного проведения.



Почему сальтаторное проведение более экономично в энергетическом плане? Охарактеризуйте.

§ 105. СРАВНЕНИЕ МИЕЛИНИЗИРОВАННЫХ И НЕМИЕЛИНИЗИРОВАННЫХ НЕЙРОНОВ

Сегодня на уроке вы:

- изучите распространение потенциала действия по миелинизированным и немиелинизированным нейронам;
- научитесь сравнивать миелинизированные и немиелинизированные нейроны.

Знаете ли вы?

- Как распространяется потенциал действия по миелинизированному, немиелинизированному волокну?

Распространение потенциала действия по немиелинизированным волокнам. По немиелинизированному волокну потенциал действия распространяется непрерывно. Проведение нервного импульса начинается с распространения электрического поля. Возникший потенциал действия за счет электрического поля способен деполяризовать мембрану соседнего участка до критического уровня, в результате чего на соседнем участке генерируются новые потенциалы действия. Сами потенциалы действия не перемещаются, они исчезают там же, где возникают. Главную роль в возникновении нового потенциала действия играет предыдущий потенциал (рис. 179).

Ключевые понятия:

- немиелинизированные волокна
- потенциал действия
- миелиновые муфты

Распространение потенциала действия по миелинизированным волокнам. По миелинизированному волокну потенциал действия распространяется скачкообразно (сальтаторное проведение). Для миелинизированных волокон характерна концентрация потенциал-зависимых ионных каналов только в областях перехватов Ранвье; здесь их плотность в 100 раз больше, чем в мембранах немиелиновых волокон. В области миелиновых муфт потенциал-зависимых каналов почти нет. Потенциал действия, возникший в одном перехвате Ранвье, за счет электрического поля деполяризует мембрану соседних перехватов до критического уровня, что приводит к возникновению в них новых потенциалов действия, т. е. возбуждение переходит скачкообразно, от одного перехвата к другому. В случае повреждения одного перехвата Ранвье потенциал действия возбуждает 2-й, 3-й, 4-й и даже 5-й, поскольку электроизоляция, создаваемая миелиновыми муфтами, уменьшает рассеивание электрического поля. Это увеличивает скорость распространения потенциала действия по миелинизированным волокнам по сравнению с немиелинизированными.

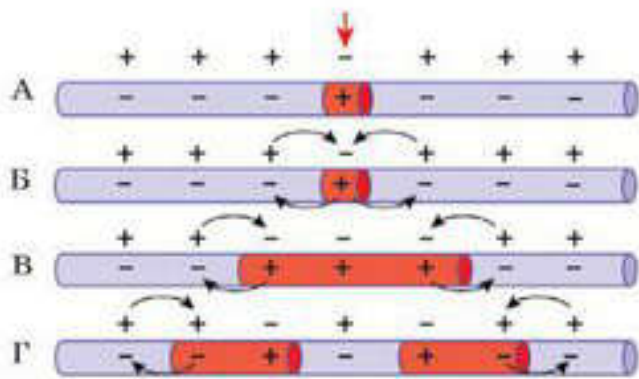


Рис. 179. Проведение возбуждения по немиелиновому волокну

площадь которых меньше 1% мембраны, и, следовательно, необходимо значительно меньше энергии для восстановления трансмембранных градиентов Na^+ и K^+ , расходующихся в результате возникновения потенциала действия, что может иметь значение при высокой частоте разрядов, идущих по нервному волокну.

Чтобы представить, насколько эффективно может быть увеличена скорость проведения за счет миелиновой оболочки, достаточно сравнить скорость распространения импульса по немиелинизированным и миелинизированным участкам нервной системы человека. При диаметре волокна около 2 мкм и отсутствии миелиновой оболочки скорость проведения будет составлять ~ 1 м/с, а при наличии даже слабой миелинизации при том же диаметре волокна — 15—20 м/с. В волокнах большего диаметра, обладающих толстой миелиновой оболочкой, скорость проведения может достигать 120 м/с.

Скорость распространения потенциала действия по мембране отдельно взятого нервного волокна отнюдь не является постоянной величиной — в зависимости от различных условий, эта скорость может очень значительно уменьшаться и, соответственно, увеличиваться, возвращаясь к некоему исходному уровню (рис. 180).

Таким образом, скорость распространения потенциала действия по миелинизированным волокнам намного выше по сравнению с немиелинизированными. Ведь за один и тот же отрезок времени потенциал действия на “толом” аксоне возбудит лишь находящийся непосредственно рядом участок, а потенциал действия на миелинизированном волокне перепрыгнет на расстояние, равное расстоянию между одним или несколькими перехватами Ранвье.

Диапазон скоростей передачи потенциала действия в различных миелинизированных волокнах очень широк: от нескольких метров в секунду до “мирового рекорда”, установленного аксоном креветки: он проводит возбуждение со скоростью, превышающей 200 м/с.

Кроме того, миелинизированные волокна толще, а электрическое сопротивление более толстых волокон меньше, что тоже увеличивает скорость проведения импульса по миелинизированным волокнам. Другим преимуществом скачкообразного проведения является его экономичность в энергетическом плане, так как возбуждаются только перехваты Ранвье,

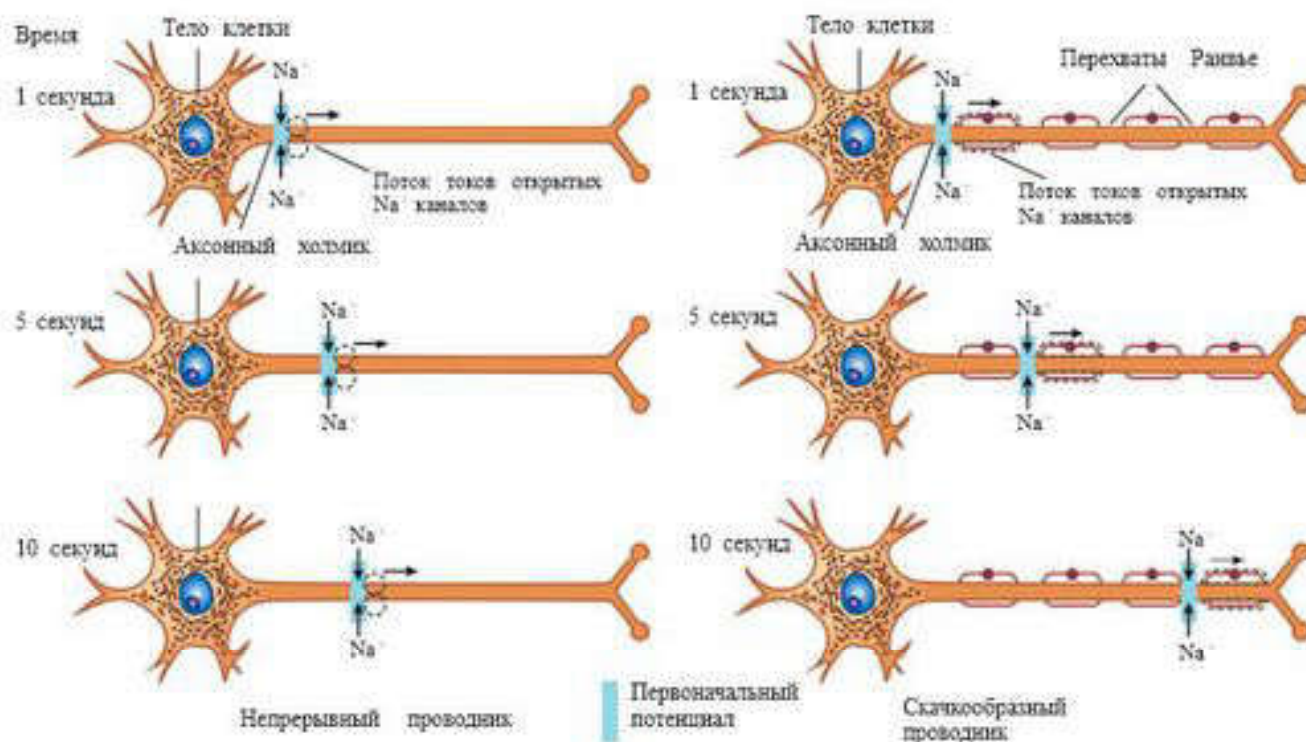


Рис. 180. Скорость распространения потенциала действия по немиелинизированным и миелинизированным аксонам (слева — немиелинизированные, справа — миелинизированные аксоны нейронов)



Проверьте свои знания:



1. Как распространяется потенциал действия по немиелинизированному волокну?
2. С чего начинается распространение нервного импульса?
3. При каких условиях генерируются новые потенциалы действия?
4. Что играет главную роль в возникновении нового потенциала действия?
5. Как будет распространяться потенциал действия, если внутриклеточным электродом раздражать аксон посередине?
6. Как распространяется по миелинизированному волокну потенциал действия?
7. Сравните скорость распространения потенциала действия миелинизированных и немиелинизированных нервных волокон.
8. Что произойдет в случае повреждения одного перехвата Ранье?



Охарактеризуйте преимущества передачи потенциала действия по миелинизированным нервным волокнам.



Заполните таблицу в тетради.

Сравнение действий миелиновых и немиелиновых нейронов

Нейроны	Проведение нервного импульса
Миелинизированные	
Немиелинизированные	

Интересно знать!

Нервные импульсы двигаются со скоростью 270 км/ч.

§ 106. СТРОЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ (общий обзор)

Сегодня на уроке вы:

- изучите строение центральной нервной системы; строение и функции головного мозга;
- научитесь ориентироваться в отделах нервной системы.

Знаете ли вы?

- Благодаря чему осуществляется связь организма в единое целое? Что позволяет организму человека приспосабливаться к бесконечно изменяющимся условиям внешней среды? Какие отделы составляют центральную нервную систему?

Ключевые понятия:

- *ЦНС — центральная нервная система*
- *головной мозг*
- *спинной мозг*
- *черепно-мозговые нервы*
- *спинно-мозговые нервы*

Организм — сложная саморегулирующаяся система, состоящая из клеток, тканей, органов. Они в свою очередь образуют физиологические системы, которые выполняют комплекс однородных функций (например, система дыхания). Физиологические системы являются наследственными. Все органы этих систем имеют единые механизмы регуляции.

Они координируют их деятельность и согласовывают работу физиологических систем друг с другом.

Главная роль в регуляции функций организма и обеспечении его целостности принадлежит нервной системе. Этот механизм регуляции является более совершенным. Во-первых, нервные влияния передаются значительно быстрее, чем химические воздействия, и потому организм через нервную систему осуществляет быстрые ответные реакции на действия раздражителей. В связи со значительной скоростью проведения нервных импульсов взаимодействие между частями организма устанавливается быстро, в соответствии с потребностями организма (рис. 181).

Центральную нервную систему представляют головной и спинной мозг. Главная и специфическая функция центральной нервной системы — осуществление рефлексов, которые отвечают за практически все наши действия. Центральная нервная система связана со всеми остальными органами и системами через периферическую нервную систему, которая представлена черепно-мозговыми нервами (в количестве 12 пар) и спинномозговыми нервами.

ЦНС также отвечает за чувства: зрение, слух, осязание, обоняние. Отвечает она и за наши эмоции, мысли и память.

Мозг взрослого человека весит в пределах *1200—1500 грамм*. Головной мозг представляет собой мягкую губчатую массу нервных клеток — нейронов. Головной мозг состоит из трех основных частей — *полушарий*

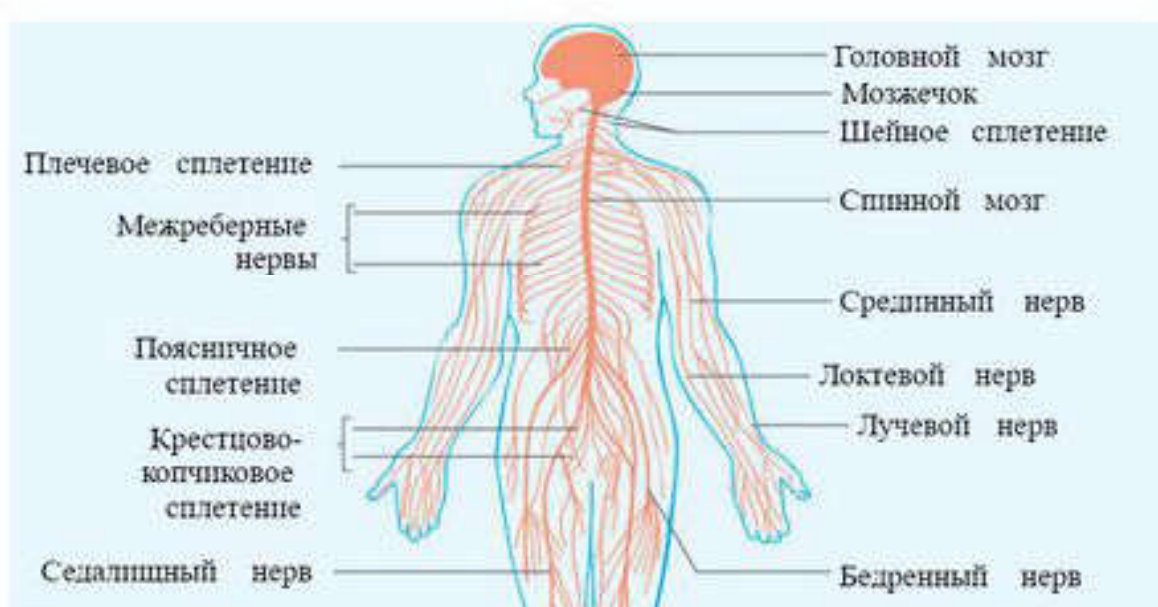


Рис. 181. Нервная система человека

(правого и левого), мозжечка и *ствола мозга*. *Стол мозга* постепенно переходит в *спинной мозг*, который располагается в *спинномозговом канале*. Этот канал образован телами и дужками позвонков.

Всем нам знакомы такие понятия, как *белое* и *серое вещество мозга*. Что же они означают? *Белое вещество* — это как бы нервные пути, нервные волокна, соединяющие тела нейронов. Серое вещество мозга представлено телами нейронов — главных нервных клеток.

Правое и левое полушария отвечают за главные функции головного мозга: получение, обработка и хранение информации. Благодаря перекресту нервных волокон в головном мозге, правое полушарие отвечает за левую половину тела, а левое — за правую.

Мозжечок — находится сзади головного мозга. Он отвечает за координацию движений. Благодаря мозжечку мы можем ходить, брать руками предметы и т. д.

Стол головного мозга — часть мозга, расположенная между головным мозгом и спинным мозгом. Он отвечает за такие функции, как голод, сердцебиение, дыхание и температура тела.

Головной мозг защищен от воздействий внешней среды черепной коробкой, в которой он находится. Кроме того, он как бы омывается особой жидкостью — ликвором — (цереброспинальной жидкостью). Ликвор находится в полости черепа под определенным давлением. Именно давление ликвора на головной мозг и называется внутричерепным давлением. Снаружи головной мозг покрыт оболочками — мягкой и твердой. При их воспалении развивается менингит (от лат. *менинкс* — оболочка мозга).

Полушария головного мозга подразделяются на доли. В каждом из двух полушарий головного мозга различают шесть долей: *лобная доля*, *теменная доля*, *височная доля*, *затылочная доля*, *центральная (или островковая) доля* и *лимбическая доля*. Каждая доля мозга отвечает за те

или иные функции: например, лобная доля отвечает за такую важнейшую функцию, как речь, затылочная доля отвечает за визуальное восприятие мира, а височная доля отвечает за восприятие звуковых раздражителей.



Проверьте свои знания:



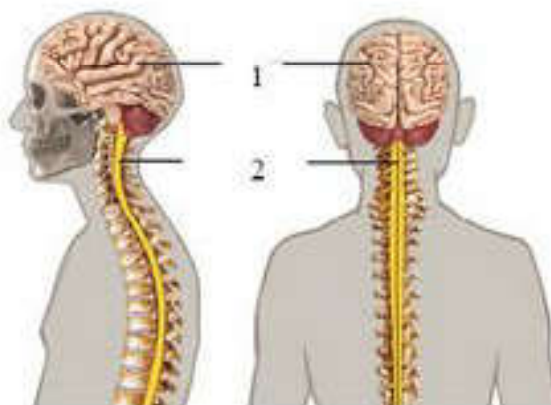
1. Какой системе принадлежит главная роль в регуляции функций организма?
2. Каким образом между частями организма быстро устанавливается связь в соответствии с потребностями организма?
3. Что составляет центральную нервную систему — ЦНС?
4. Какова главная специфическая функция центральной нервной системы?
5. Как связаны между собой спинной и головной мозг?
6. Сколько пар черепно-мозговых нервов отходит от головного мозга?



1. Дайте краткий обзор, за что отвечают левое и правое полушария головного мозга.
2. Дайте краткий обзор, чем защищен головной мозг.



Назовите отделы ЦНС, обозначенные цифрами 1, 2. Дайте краткую характеристику каждому отделу.



Дополните данные предложения.

1. Нервная система подразделяется на...
2. От центральной нервной системы ко всем органам нашего тела отходят...
3. Ответная реакция организма на раздражение рецепторов, осуществляемая при участии нервной системы, называется...
4. Скопление тел нейронов и их отростков образуют... вещество головного и спинного мозга, а скопление нервных волокон... вещество.
5. Скопления тел нервных клеток за пределами центральной нервной системы...
6. Определенный участок коры больших полушарий, осуществляющий анализ и синтез полученной информации...



Заполните в тетради таблицу «Отделы нервной системы человека».



Почему в координации и регуляции деятельности организма нервная система занимает ведущее место? Сопоставьте скорость проведения нервного импульса со скоростью тока крови в аорте (0,5 м/сек).

§ 107. СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Сегодня на уроке вы:

- изучите строение и функции головного мозга;
- научитесь описывать строение и функции головного мозга.

Знаете ли вы?

- Какие отделы составляют головной мозг? Каким отделом головного мозга осуществляются следующие рефлексы: глотательные, чихательные, слюноотделительные? Какие рефлексы осуществляет средний мозг? Какой отдел головного мозга осуществляет координацию движений? Каковы особенности его строения? Каковы функции промежуточного мозга?

Центральную нервную систему человека составляет головной и спинной мозг.

Головной мозг состоит: из мозжечка и стволовой части, филогенетически более древних центров, расположенных в продолговатом, среднем, промежуточном мозге, и больших полушарий, наделенных филогенетически наиболее новым образованием — корой больших полушарий головного мозга (рис. 182).

Мозжечок, связанный проводящими путями со всеми другими отделами центральной нервной системы, своей основной функцией определяет координацию движений, а также поддерживает нормальный тонус мышц. Удаление или поражение мозжечка у животных вызывает: а) резкое падение тонуса мышц, которые становятся вялыми; б) быструю утомляемость животного при движениях; в) нарушение координации движений, которые становятся неточными и неловкими; г) дрожательные движения конечностей и головы, мешающие животному правильно выполнять отдельные действия.

Продолговатый мозг и примыкающий к нему так называемый варолиев мост содержат центры дыхательных, жевательных, глотательных движений, сердечной деятельности, регуляции обмена веществ, а также ряда защитных рефлексов — чихания, кашля, моргания, слезоотделения, сужения и расширения зрачков, элементарных защитных рефлексов (поворотов тела, настораживания), рефлексов положения тела, связанных с возбуждением вестибулярного аппарата и с изменениями тонуса шейных мышц, и т. д.

Средний мозг состоит из четверохолмия и ножек мозга; в состав последних входят красные ядра и черное вещество, в которых расположены как чувствительные, так и двигательные центры. К функциям среднего мозга относятся: обеспечение равномерного

Ключевые понятия:

- мозжечок
- стволовая часть
- продолговатый мозг
- варолиев мост
- средний мост
- промежуточный мозг
- большие полушария

распределения мышечного тонуса; статические рефлексы (выпрямительные рефлексы, благодаря которым восстанавливается нормальная поза тела при нарушении его правильного положения в пространстве); статокINETические рефлексы, возникающие в связи с ускорением прямолинейного или вращательного движения тела: (подергивание) головы и глаз, движения туловища и конечностей в сторону, противоположную только что сделанному повороту (при остановке вращения, прыжках и т. д.); ориентировочные рефлексы на световые и звуковые раздражители, выражающиеся в движениях глаз, поворотах головы в сторону раздражителя и т. п.; рефлексы настораживания, возникающие при сильных внезапных раздражениях.

Промежуточный мозг, в котором расположены так называемые зрительные бугры, бледное тело и подбугровая область, является органом сложных врожденных координированных движений (безусловных рефлексов и инстинктов).

В *зрительные бугры* приходят все центростремительные нервы, доставляя сюда возбуждения от всех без исключения рецепторов. С помощью специальных волокон они имеют связь с корой головного мозга. Важно отметить, что все центростремительные сигналы, получаемые корой головного мозга, обязательно проходят через зрительные бугры. Поражение зрительных бугров приводит к расстройству или даже к полной потере чувствительности.

Бледное тело является средоточием двигательных центров, управляющих разнообразными движениями. Отсюда исходят многочисленные центробежные нервы к различным мышечным группам. Поражение бледного тела приводит к расстройству ряда движений или даже к двигательным параличам.

Бледное тело связано соединительными волокнами со зрительными буграми, благодаря чему большинство рефлекторных дуг замыкаются в промежуточном мозге, не проходя через кору головного мозга: центростремительные нервные импульсы из зрительных бугров прямо передаются на двигательные центры бледного тела, что и приводит к осуществлению соответствующей двигательной реакции организма. Примером могут служить автоматические движения при ходьбе, беге, при пищевых рефлексах и т. д.

Подбугровая область является высшим органом вегетативной нервной системы. В ней сосредоточены центры обмена веществ в организме, сосудодвигательные центры, центр терморегуляции, поддерживающий постоянную температуру тела, и т. д. Благодаря подбугровой области промежуточный мозг осуществляет вегетативные сдвиги, связанные с эмоциональными процессами: изменение частоты дыхания и сердечных сокращений, покраснение или побледнение лица, изменение в деятельности желез внутренней секреции и т. д.

Большие полушария. Каждое из двух больших полушарий отвечает за свои, индивидуальные функции. Например, человек с более функ-

циональной левой частью полушария скорее правша, с правым — левша (рис. 183).

Левый отдел мозга отвечает за наши логические (решение задач, вычисление) и мыслительные способности. Правая часть — это скорее творческие направления, например, развитость музыкального слуха, способность рисовать, а также способность решать задачи, но более нестандартными методами. Если выделять типы мышления двух частей мозга, то первый (левое) — это абстрактно-логический, а второй (правое) — это пространственно-образный. Существуют многочисленные действия, которые управляются большими полушариями головного мозга, это, например, функции глотания, кашель, чихание и другие.

Большие полушария классифицируются на несколько отделов, которые называют долями. Каждый отдел отвечает за свою функциональность.

Строение больших полушарий. Строение больших полушарий головного мозга начинается с их разделения на два массивных отдела, отчетливой щелью, на две части. В срединной части находится мозолистое тело, которое и соединяет полушария соединительной тканью. В основу каждого полушария входят доли.

Отделение каждой доли от другой происходит бороздами. Выделяются три ключевые борозды, отделяющие определенные доли:

- центральная, которая отделяет лобную зону от теменной;
- боковая, которая разделяет височную и теменную зоны;
- теменно-затылочная, разделяющая друг от друга теменную и затылочную зоны (рис. 184).

Большие полушария головного мозга содержат извилины, которые также отделяются бороздами. Покрытие полушарий составляет кора, которая представляет собой слой, состоящий из миллиардов нейронов.

Кора играет важнейшую роль в регулировании и координировании всех необходимых функций для поддержания жизнедеятельности, а также регулирует процессы работы ЦНС. Размер коры составляет 45% от всего объема больших полушарий.

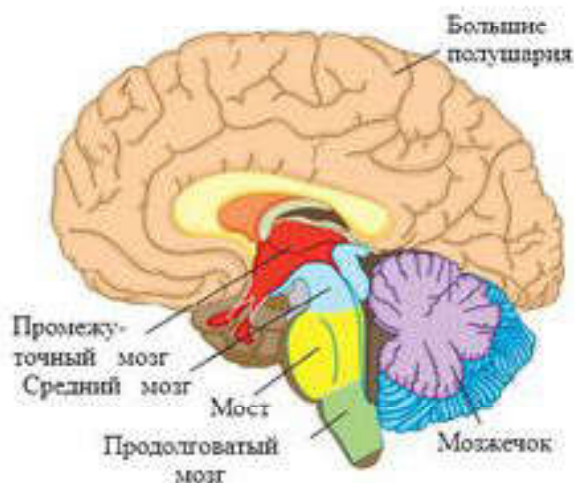


Рис. 182. Основные отделы головного мозга на продольном срезе



Рис. 183. Большие полушария головного мозга

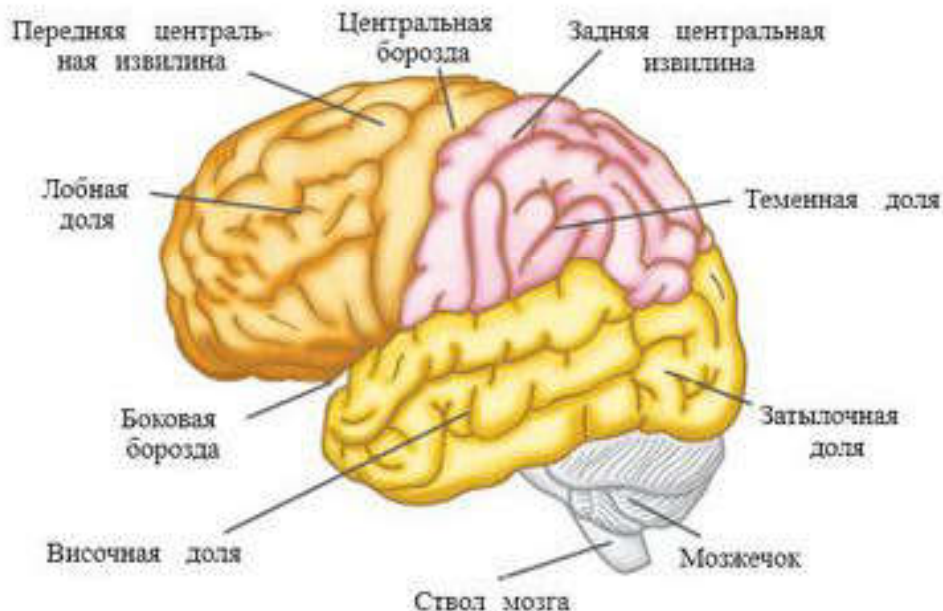


Рис. 184. Борозды и доли коры головного мозга

Ключевой особенностью ее строения выделяют горизонтальное, вертикальное и послойное взаимодействие ее нейронов. Участки коры связываются как между собой, так и с подкорковыми структурами.

Кора отвечает за формирование всех функций человеческого организма, регулирует их деятельность и формирует их развитие. Именно кора человеческого головного мозга достигла наивысшего своего развития.

Лобная доля. Располагается на всем переднем участке полушарий. Отделение от теменной области происходит — срединной, а от височной — боковой бороздами. Имеет всего 4 извилины. Вес всего занимаемого участка составляет примерно 500 г. Выполняет следующие функции:

- координация произвольных движений;
- регуляция речевого аппарата;
- регуляция мыслительных процессов.

Именно срединная извилина этой части мозга является центральной координирующей, мозговой частью непринужденных движений. Глубина коры этой извилины характеризуется началом так называемого пирамидного пути, через который и производится формирование, а затем — передача импульсов.

В верхней, задней зоне располагается двигательный центр. Именно эта система способствует реализации произвольной моторики, а также поддержанию мышечного тонуса и равновесия тела.

Мозг человека функционирует как единое целое и является материальной основой психической деятельности человека. Такие специфические психические функции, как память, речь, мышление, творческие процессы, личностные качества связаны с большими полушариями мозга.



Проверьте свои знания:



1. Назовите отделы головного мозга.
2. Какова функция продолговатого мозга?
3. Какую функцию выполняет средний мозг?
4. Назовите функции промежуточного мозга.
5. Какая роль принадлежит мозжечку?
6. Как устроены большие полушария головного мозга?
7. Какие функции выполняет кора больших полушарий?
8. Из каких долей состоят большие полушария?



Охарактеризуйте функциональные зоны коры больших полушарий.



Назовите структуры головного мозга.



1. Выявите в ходе экспериментальной работы функции продолговатого мозга. Докажем, что безусловный рефлекс продолговатого мозга не может осуществляться без раздражения корня языка, рефлексогенной зоны этого рефлекса.

Сделайте подряд несколько глотательных движений. Что вы наблюдаете?

Получается ли глотательное движение без слюны? Почему? Что является раздражителем? Почему не происходит глотательное движение?

2. Выявите в ходе экспериментальной работы функции мозжечка.

А. (пальценосовая проба) Закройте глаза, вытяните вперед правую руку с разогнутым указательным пальцем, остальные пальцы сжаты в кулак. После этого кончиком указательного пальца коснитесь кончика своего носа. Удалось ли вам это?

Б. Работу проводите в парах. Один (испытуемый) сгибает руку в локте. Другой (экспериментатор) захватывает его предплечье около кисти и предлагает испытуемому тянуть руку на себя, преодолевая сопротивление. Затем неожиданно для испытуемого экспериментатор отпускает руку. Что происходит с рукой?



Выявите в ходе экспериментальной работы функции среднего мозга.

Экспериментатор предлагает испытуемому спокойно читать любой текст. Как только он приступил к чтению, сильно хлопает в ладоши. Что происходит? Почему чтец переориентировался с книги на вас?

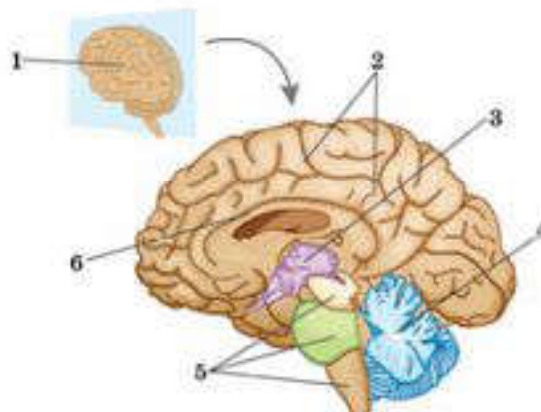


Выявите в ходе экспериментальной работы функции промежуточного мозга.

Проведите работу с одноклассниками. Испытуемому предлагается проделать плавные движения руками, изображая полет птиц или танец. Экспериментатор неожиданно дает громкую команду "Замри".

В данный момент команда "Замри" вызвала остановку движения, зафиксировала определенную позу тела.

Благодаря чему возможно одновременное сокращение мышц при замирании в позе?



Интересно знать!

Интеллектуально развитые люди значительно реже имеют заболевания головного мозга, чем люди с низким показателем интеллекта.

Эти данные были получены британскими учеными в 2015 г. на основе анализа 100 000 людей из статистической группы. Также интеллектуалы менее склонны к полноте.

§ 108. СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ СПИННОГО МОЗГА**Сегодня на уроке вы:**

- изучите строение и функции спинного мозга;
- научитесь характеризовать строение и функции спинного мозга.

Знаете ли вы?

- Чем защищен спинной мозг? Что собой представляет спинной мозг? Сколько пар спинномозговых нервов отходит от спинного мозга? Каково внутреннее строение спинного мозга? Какие нейроны обеспечивают чувствительные реакции? Каким нейронам принадлежат двигательные реакции?

Ключевые понятия:

- спинной мозг
- оболочки спинного мозга
- спинномозговые нервы
- двигательные пути
- центrostремительные пути
- рефлекс
- функции спинного мозга

Спинной мозг расположен в спинномозговом канале, образованном боковыми отростками позвонков, и покрыт тремя оболочками: мягкой, паутинной и твердой (рис. 185). Являясь продолжением ствола головного мозга, спинной мозг имеет свое специфическое строение. Он имеет вид белого шнура толщиной около 1,5 см. В шейном и поясничном отделах имеются утолщения, связанные с иннервацией верхних и нижних конечностей. Длина спинного мозга зависит от роста человека и составляет 40—45 см.

На передней и задней поверхности спинного мозга имеются продольные борозды. Спинному мозгу присуще сегментарное строение (рис. 186). Каждый сегмент, или отрезок, дает начало одной паре нервов. Всего сегментов 31. От каждого сегмента отходят пара двигательных (передних) и пара чувствительных (задних) нервных корешков. Так, от шейного отдела отходит 8 пар, от грудного — 12, от поясничного — 5, от крестцового — 5 и от копчикового — 1 пара спинномозговых корешков. Двигательные и чувствительные корешки по выходу из спинного мозга соединяются вместе и направляются в межпозвоночные отверстия, где чувствительный корешок образует спинальный ганглий (узел). Образовавшиеся из соединения передних и задних корешков спинномозговые стволы по выходу из межпозвоночного отверстия

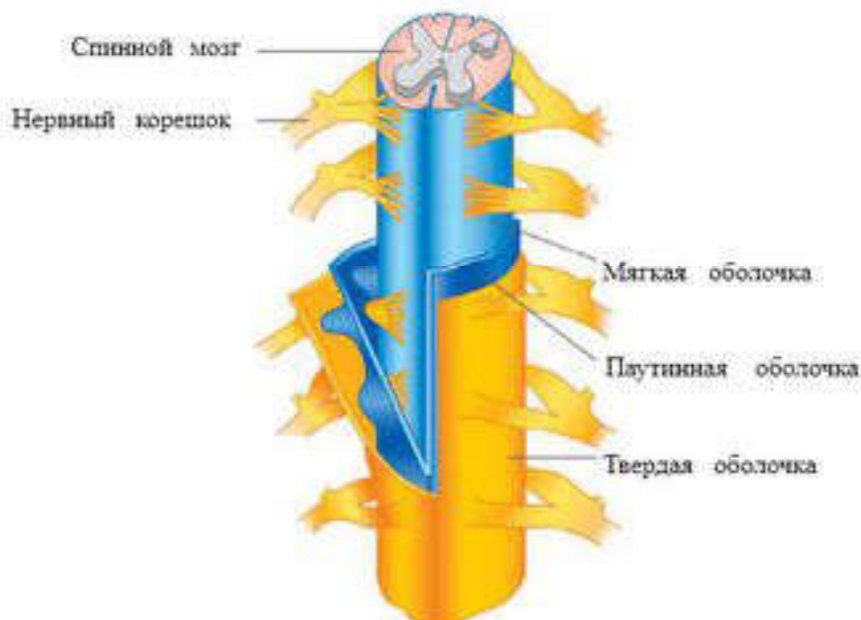


Рис. 185. Оболочки спинного мозга

образуют сплетения — шейное, плечевое, пояснично-крестцовое, от которых отходят периферические нервы, иннервирующие скелетную мускулатуру. Так, от шейно-плечевого сплетения отходят локтевой, лучевой, срединный нервы, иннервирующие мышцы рук. От пояснично-крестцового сплетения отходят седалищный, бедренный и другие нервы, иннервирующие мышцы ног (рис. 181).

Внутреннее строение спинного мозга можно изучить на поперечном срезе (рис. 187). Рассматривая такой срез, увидим, что спинной мозг также образован из серого и белого веществ. Серое вещество на разрезе имеет форму латинской буквы Н или бабочки. В центре серого вещества проходит спинномозговой канал, который в головном мозге расширяется и образует мозговые желудочки. Выступы серого вещества носят название рогов спинного мозга. Передние выступы, более широкие и короткие, называются *передними рогами спинного мозга*, задние, вытянутые, — *задними рогами*, боковые выступы образуют боковые рога. В задний рог входят задние чувствительные корешки, из переднего рога выходят передние двигательные корешки, направляющиеся к мышцам. В боковых рогах заложены ядра вегетативной нервной системы.

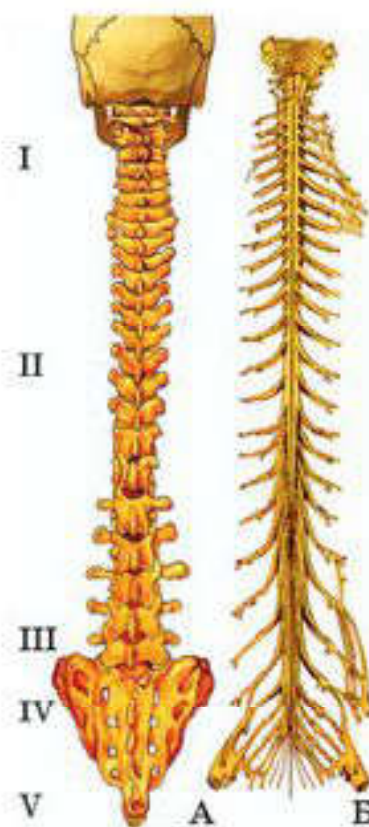


Рис. 186. Отделы спинного мозга.

А — шейный отдел,
 II — грудной отдел,
 III — поясничный отдел,
 IV — крестцовый отдел,
 V — копчиковый отдел.
 Б. Спинальный мозг, с отходящими от него корешками спинномозговых нервов и спинномозговыми нервными узлами

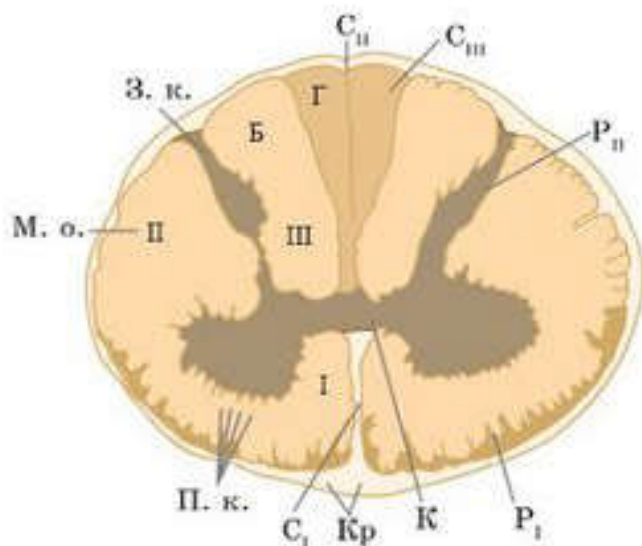


Рис. 187. Шейный срез спинного мозга:

Кр — кровеносные сосуды, артерии и вена;
 C_I — передняя срединная щель;
 I — передний канатик; II — боковой канатик; III — задний канатик; Б — пучок Бурдаха; Г — пучок Голля; П. к. — передние корешки; З. к. — задние корешки; М. о. — мягкая оболочка; К — центральный канал;
 P_I — передний рог; P_{II} — задний рог;
 C_{II} — задняя срединная борозда; C_{III} — задняя промежуточная борозда

от коры и других отделов головного мозга к спинному мозгу. Центро-стремительные пути проходят в задних и боковых столбах, центробежные — в передних и боковых.

Функция серого вещества состоит в переносе чувствительных импульсов на двигательные рецепторы спинного мозга. Так, раздражение внешней среды с окончаний кожных чувствительных рецепторов по чувствительному нерву передается на межпозвоночный узел, а затем через задний корешок — в задний рог спинного мозга. Дальнейшая передача чувствительных импульсов на двигательный нейрон (передний рог) осуществляется или непосредственно, или через вставочный нейрон. В результате поступления чувствительных импульсов возникают двигательные импульсы, направляющиеся по двигательным корешкам и нервам к мышцам, которые, сокращаясь, производят те или иные движения. Таким образом, на уровне спинного мозга осуществляется рефлекторная дуга, которая представляет собой один из видов спинномозговых автоматизмов (рис. 188).

Вторая половина рефлекторного процесса относится к так называемой проводниковой деятельности спинного мозга, осуществляющей дальнейшую передачу чувствительных импульсов от суставов, связок, мышц в подкорковые образования и кору головного мозга через систему восходящих (центростремительных) путей. Таким образом высший отдел коры получает сигналы о состоянии на периферии. В свою очередь

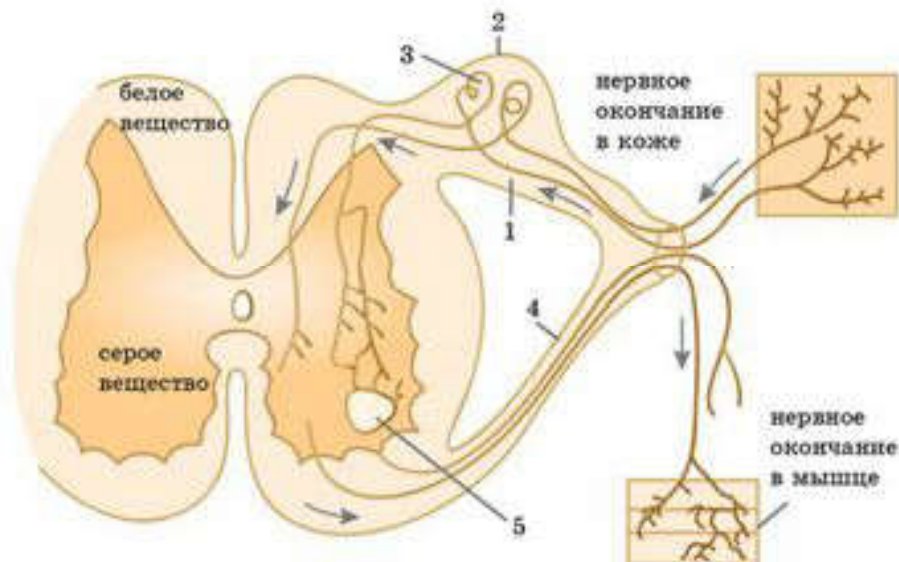


Рис. 188. Схема проведения возбуждения от кожи через спинной мозг в мышцы (рефлекторная дуга):

1 — задний корешок; 2 — межпозвоночный узел; 3 — тело воспринимающего нейрона; 4 — передний корешок; 5 — тело двигательного нейрона

кора дает ответные импульсы, направляющиеся к периферическим двигательным рецепторам и мышцам через систему нисходящих (центральных) путей, осуществляя регуляцию целесообразных двигательных актов. Вдоль серого вещества спинного мозга заложен ряд важных вегетативных центров. Так, в верхних шейных сегментах заложены центры, регулирующие деятельность диафрагмы, в VIII сегменте заложен центр, расширяющий зрачок. В нижнем отделе (пояснично-крестцовом) заложены вегетативные центры, регулирующие деятельность мочевого пузыря и прямой кишки, а также половых органов.



Проверьте свои знания:



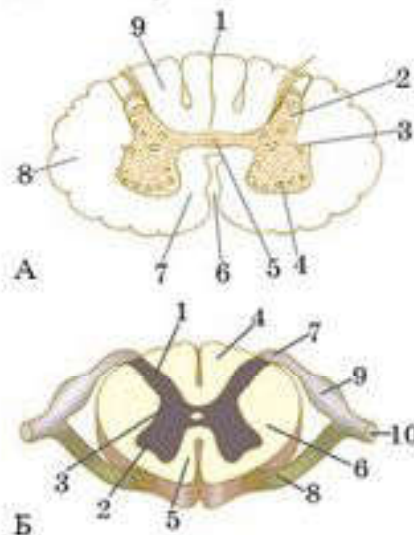
1. Чем защищен спинной мозг?
2. Сколько пар спинномозговых нервов отходит от каждого сегмента?
3. Назовите сплетения, образованные передними и задними корешками.
4. Что отходит от нервных сплетений?
5. Какие структуры называются передними и задними рогами?
6. Чем образованы передние и задние корешки?
7. Назовите функции спинного мозга.



Дайте полную характеристику рефлекторной деятельности человека.



Пользуясь материалом параграфа и дополнительной литературой, назовите элементы, указанные на рисунках А и Б.

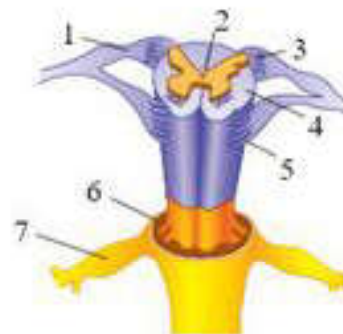




В зависимости от выполняемых функций различают _____ и _____ нейроны. Основу нервной системы составляют нервные клетки — _____. Тела нервных клеток могут быть различными по форме, а отростки разной длины: короткие называются _____, а длинные — _____. К центральной нервной системе относят _____ и _____, к периферической _____ и _____. Вегетативная (_____) нервная система иннервирует все внутренние органы. Безусловные рефлексы передаются по наследству, поэтому их еще называют _____. Путь, по которому проходит нервный импульс от места своего возникновения до рабочего органа, называется _____.



1. Назовите части спинного мозга, обозначенные цифрами.
2. Спинномозговой канал, обозначенный на рисунке цифрой..., заполнен...
3. Выберите примеры, относящиеся к проводниковой функции спинного мозга:
 - разгибание конечностей;
 - передача нервного импульса из спинного мозга в головной;
 - отдергивание руки от горячего предмета;
 - коленный рефлекс;
 - передача нервного импульса из мозга к мышцам конечностей.
4. Найдите интересные факты по теме параграфа в научно-популярной литературе. Подготовьте презентацию.



§ 109. ВИДЫ МЕХАНОРЕЦЕПТОРОВ. РЕАКЦИЯ МЕХАНОРЕЦЕПТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЯ РАЗДРАЖИТЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ТЕЛЕЦ ПАЧИНИ

Сегодня на уроке вы:

- изучите виды механорецепторов, реакцию механорецепторов на изменения раздражителей на примере телец Пачини;
- научитесь описывать, как механорецепторы реагируют на изменения раздражителя (тельца Пачини).

Знаете ли вы?

- Что собой представляет рецептор? Какие рецепторы бывают?

Ключевые понятия:

- механорецепторы
- тельца Пачини
- быстро приспособляемые рецепторы
- медленно приспособляемые рецепторы
- рецепторы прикосновения
- барорецепторы
- вестибулорецепторы

Механорецепторы (от греч. *mechanē* — орудие, приспособление, лат. *recipio* — брать, принимать) — рецепторы, представляющие собой окончания чувствительных нервных волокон, реагирующие на различные механические стимулы, такие как прикосновение, давление, растяжение, колебания и т. п., действующие извне или возникающие во внутренних органах организма. В коже

они расположены на разной глубине и в различных ее структурных образованиях. Большинство этих рецепторов являются свободными нервными окончаниями чувствительных нервов. Часть их находится в разного рода капсулах.

У человека существуют четыре главных типа таких рецепторов на гладкой коже (т. е. коже, лишенной волос): *тельце Пачини*, *тельце Мейснера*, *диски Меркеля*, *окончания Руффини* и *сухожильный орган Гольджи*.

Механорецепторы, реагирующие на тактильные стимулы (прикосновение к коже или давление), бывают быстро или медленно адаптирующимися.

К быстро адаптирующимся относятся рецепторы волосяных фолликулов волосистой части кожи, тельца Мейснера безволосой (голой) кожи и тельца Пачини подкожной ткани. Рецепторы волосяных фолликулов и тельца Мейснера предпочитают отвечать на стимулы, поступающие с частотой примерно 30—40 Гц, тогда как тельца Пачини — на стимулы с частотой примерно 250 Гц.

Медленно адаптирующиеся кожные механорецепторы — это диски Меркеля и тельца Руффини. Диски Меркеля имеют точечные рецептивные поля, а тельца Руффини активируются при растяжении кожи, причем даже на некотором расстоянии от рецептора.

Виды механорецепторов (рис. 189).

Тактильные механорецепторы сосредоточены в наружных покровах животных и человека, они воспринимаются через прикосновение, давление, растяжение, колебания.

Барорецепторы расположены в стенках кровеносных сосудов, сердце, полых гладкомышечных органах, реагируют на растяжение, вызванное изменением давления крови, скопления газов в желудке или кишечнике и т. п.

Проприорецепторы сосредоточены в мышечно-суставном аппарате, реагируют на растяжение, проявляющееся при сокращении или расслаблении скелетных мышц.

Вестибулорецепторы (или механорецепторы вестибулярного

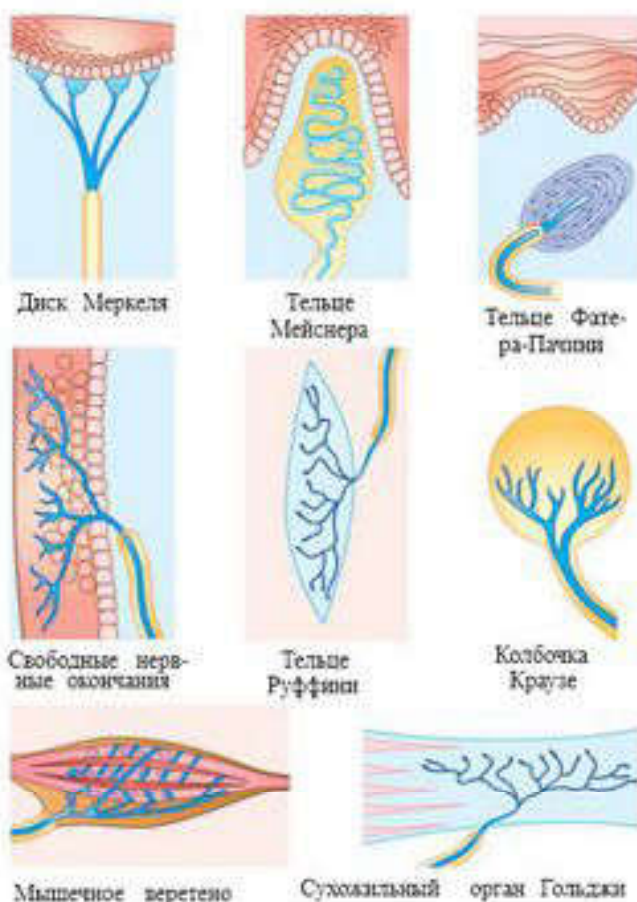


Рис. 189. Механорецепторы

аппарата) реагируют на ускорения и вибрации при наклоне тела или головы.

Тактильные механорецепторы. Механические стимулы воспринимаются рецепторами двух типов: механорецепторами и тельцами Пачини.

Механорецепторы оценивают давление. Они сравнительно медленно адаптируются к внешнему воздействию и обладают плохим временным разрешением.

Тельца Пачини реагируют на возникающую вибрацию. Они воспринимают воздействующую на кожу вибрацию с частотой около нескольких сотен герц. При этом тельца Пачини работают в комплексе с выростами кожи, которые формируют отпечатки пальцев. Эти регулярные выступы играют роль частотного фильтра и позволяют выделить только полезный сигнал, что позволяет намного точнее определять рельеф осяпываемых предметов.

Проприорецепторы — рецепторы мышц (например мышечные веретена и сухожильные рецепторы (органы Гольджи)). Они могут быть как неспецифическими (рецепторы расположены в мышцах и суставах конечностей), так и специфическими (рецепторы расположены в дыхательных мышцах). Импульсация от propriорецепторов распространяется преимущественно к спинальным центрам дыхательных мышц, а также к центрам головного мозга, контролирующего тонус скелетной мускулатуры. Активация propriорецепторов в момент начала физической нагрузки является основной причиной увеличения активности дыхательного центра и повышения вентиляции легких. Проприорецепторы межреберных мышц и диафрагмы рефлекторно регулируют ритмическую активность дыхательного центра продолговатого мозга в зависимости от положения грудной клетки в различные фазы дыхательного цикла, а на сегментарном уровне — тонус и силу сокращения дыхательных мышц.

В тканях дыхательных путей расположены два основных типа механорецепторов, импульсы от которых поступают к нейронам дыхательного центра: быстро адаптирующиеся рецепторы и рецепторы растяжения.

Быстро адаптирующиеся рецепторы расположены в эпителии и субэпителиальном слое, начиная от верхних дыхательных путей вплоть до альвеол. Название рецепторов свидетельствует о том, что они активируются при раздражении не продолжительно и быстро снижают свою активность при сохранении действия стимула. Поэтому быстро адаптирующиеся рецепторы реагируют на изменение силы раздражения. Эти рецепторы инициируют такие сложные рефлексы, как нюхательный или кашлевой. Они возбуждаются при попадании на слизистую оболочку трахеи и бронхов механических или химических

раздражителей (пыль, слезь, табачный дым, пары едких веществ — аммиак, эфир).

Медленно адаптирующиеся рецепторы растяжения легких локализованы в гладких мышцах главных дыхательных путей бронхиального дерева (бронхи и трахея) и раздражаются в результате увеличения объема легких (раздувание). Рецепторы связаны с нейронами дыхательного центра миелинизированными афферентными волокнами блуждающего нерва. Стимуляция этих рецепторов вызывает рефлекс Геринга — Брейера, который у животных проявляется в том, что раздувание легких вызывает рефлекторное переключение фазы вдоха на фазу выдоха. У человека в состоянии бодрствования этот рефлекторный эффект возникает при величине дыхательного объема, который превышает примерно в три раза его нормальную величину при спокойном дыхании. Во время сна рефлекторное выключение вдоха с помощью рефлекса Геринга — Брейера обуславливает смену фаз дыхательного цикла.



Проверьте свои знания:



1. Механорецепторы — это...
2. Назовите четыре типа механорецепторов.
3. Какие механорецепторы относятся к быстро адаптирующимся?



1. Какие виды механорецепторов бывают?
2. Какова роль проприорецепторов?
3. Какие механорецепторы относятся к медленно адаптирующимся?



1. Заполните таблицу в тетради.

Виды механорецепторов, их функция

Виды механорецепторов	Их функция

2. Заполните таблицу в тетради.

Значение медленно и быстро адаптирующихся рецепторов

Рецепторы	Их функция
Быстро адаптирующиеся рецепторы	
Медленно адаптирующиеся рецепторы	



1. Почему при нарушении мышечного чувства человек не может передвигаться с закрытыми глазами?
2. Почему человек ощущает предмет руками, чтобы лучше изучить его?



- Подготовьте презентацию и вопросы к дискуссии по теме урока "Виды механорецепторов".

§ 110. ВЗАИМОСВЯЗЬ СТРОЕНИЯ И ФУНКЦИЙ ХОЛИНЕРГИЧЕСКОГО СИНАПСА. МЕХАНИЗМ СИНАПТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ НА ПРИМЕРЕ ХОЛИНЕРГИЧЕСКОГО СИНАПСА

Сегодня на уроке вы:

- изучите взаимосвязь строения и функции холинергического синапса, механизм синаптической передачи на примере холинергического синапса;
- научитесь устанавливать взаимосвязь строения и функции холинергического синапса.

Знаете ли вы?

- Что такое холинергический синапс? Какие бывают виды холинергических синапсов? Какое химическое вещество является медиатором в холинергическом синапсе?

Ключевые понятия:

- холинергический синапс
- медиатор
- ацетилхолин
- холинорецепторы
- М-холинорецепторы
- Н-холинорецепторы

Холинергические синапсы представляют собой место, в котором происходит контакт двух нейронов или нейрона и эффекторной клетки, получающей сигнал. Синапс состоит из двух мембран — пресинаптической и постсинаптической, а также из синаптической щели. Передача нервного импульса осуществляется посредством медиатора, т. е. вещества-передатчика. Происходит это в результате взаимодействия рецептора и медиатора на постсинаптической мембране. В этом заключаются основные функции холинергического синапса (рис. 190).

В парасимпатической нервной системе медиатором является *ацетилхолин*, рецепторами — *холинорецепторы* двух типов: Н (никотин) и М (мускарин). М-холиномиметики, обладающие прямым типом действия, могут стимулировать рецепторы на мембране постсинаптического типа.

Синтез ацетилхолина осуществляется в цитоплазме нейронных холинергических окончаний. Он образуется из холина, а также ацетилкоэнзима-А, который имеет митохондриальное происхождение. В синаптических пузырьках происходит депонирование ацетилхолина. В каждом из таких пузырьков может находиться до нескольких тысяч ацетилхолиновых молекул. Нервный импульс провоцирует высвобождение молекул ацетилхолина в синаптическую щель. После этого он вступает во взаимодействие с холинорецепторами.

Строение холинергического синапса уникально. По данным биохимиков, холинорецептор нервно-мышечного синапса может включать 5 белковых субъединиц, которые

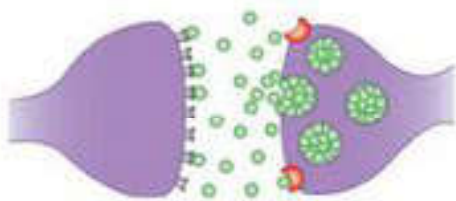


Рис. 190. Холинергический синапс

оказывают ионный канал и проходят сквозь всю толщу мембраны, состоящей из липидов. Пара молекул ацетилхолина вступает во взаимодействие с парой α -субъединиц. Это приводит к тому, что открывается ионный канал и постсинаптическая мембрана деполяризуется.

Виды холинергических синапсов. Холинергические синапсы по-разному локализованы и так же по-разному чувствительны к воздействию фармакологических веществ. В соответствии с этим различают:

Мускариновые чувствительные холинорецепторы — так называемые М-холинорецепторы. Мускарин представляет собой алкалоид, присущий ряду ядовитых грибов, к примеру мухоморам.

Никотиночувствительные холинорецепторы — так называемые Н-холинорецепторы. Никотин представляет собой алкалоид, содержащийся в листьях табака (рис. 191).

Расположение холинергических синапсов. Первые располагаются в постсинаптической мембране клеток в составе эффекторных органов. Помимо этого, они также есть в нейронных клетках вегетативных ганглиев и в коре головного мозга. Установлено, что М-холинорецепторы различной локализации гетерогенны, что обуславливает различную чувствительность холинергических синапсов к веществам фармакологической природы (рис. 192).

Виды холинорецепторов в зависимости от расположения. Биохимики различают несколько видов М-холинорецепторов по их расположению.

Расположенные в вегетативных ганглиях и в ЦНС. Особенностью первых является то, что они локализованы вне синапсов — М1-холинорецепторы.

Расположенные в сердце. Некоторые из них способствуют снижению высвобождения ацетилхолина — М2-холинорецепторы.

Расположенные в гладких мышцах и в большей части эндокринных желез — М3-холинорецепторы.

Расположенные в сердце, в стенках легочных альвеол, в ЦНС — М4-холинорецепторы. Расположенные в ЦНС, в радужной оболочке глаза, в слюнных железах, в мононуклеарных кровяных клетках — М5-холинорецепторы.



Рис. 192. Расположение холинергических синапсов



Рис. 191. Разновидность холинорецепторного синапса

Классификация средств, стимулирующих холинергические синапсы. Чувствительность различных *H*-холинорецепторов к веществам неодинакова. Например, *H*-холинорецепторы в структуре вегетативных ганглиев (рецепторы нейтрального типа) имеют значительные отличия от *H*-холинорецепторов в скелетных мышцах (рецепторы мышечного типа). Именно такая их особенность позволяет избирательно блокировать ганглии специальными веществами. Например, курареподные вещества способны блокировать нервно-мышечную передачу.

Пресинаптические холинорецепторы и адренорецепторы участвуют в регуляции процесса высвобождения ацетилхолина в синапсах нейроэффлекторной природы. Возбуждение этих рецепторов будет угнетать высвобождение ацетилхолина. Ацетилхолин взаимодействует с *H*-холинорецепторами и изменяет их конформацию, повышает уровень проницаемости постсинаптической мембраны. Ацетилхолин оказывает возбуждающий эффект на ионы натрия, которые проникают затем внутрь клетки, а это приводит к тому, что постсинаптическая мембрана деполяризуется. Изначально возникает локальный синаптический потенциал, который достигает определенной величины и начинает процесс генерации потенциала действия. После этого местное возбуждение, которое ограничено синаптической областью, начинает распространяться по всей клеточной мембране. Если происходит стимуляция *M*-холинорецептора, то при передаче сигнала значительную роль играют вторичные мессенджеры и G-белки.



Проверьте свои знания:



1. Что собой представляют холинергические синапсы?
2. Какую роль играет медиатор – вещество-передатчик?
3. Какое органическое соединение является медиатором в парасимпатической нервной системе?
4. Как называются рецепторы в парасимпатической нервной системе? Сколько их? Назовите типы рецепторов.
5. Где осуществляется синтез ацетилхолина? Как это происходит?
6. В составе каких фармакологических веществ содержатся мускарин и никотин?
7. Где расположены холинорецепторы?



Каково строение холинергического синапса?



Заполните в тетради таблицу.

Виды холинорецепторов в зависимости от расположения

Виды холинорецепторов	Их расположение



Подготовьте электронную презентацию и мини-проект по теме параграфа.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБОБЩЕНИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИИ ЗНАНИЙ ПО РАЗДЕЛУ

1. Каковы особенности строения нервных клеток?
2. Что собой представляет миелинизированная оболочка?
3. В чем принимают участие нейротрубочки?
4. Какие типы нейронов бывают?
5. Какова функция униполярных нейронов?
6. Назовите функции биполярных нейронов.
7. Каковы особенности в строении и функциях мультиполярных нейронов?
8. Потенциал действия — это...
9. Какие явления лежат в основе любого потенциала действия?
10. Назовите фазы потенциала действия?
11. Дайте краткую характеристику каждой фазе потенциала действия.
12. Инициация и трансмиссия потенциала действия — это...
13. Как осуществляется передача импульса вдоль аксона нейрона?
14. Нейромедиатор — это...
15. Что означает рефрактерный период?
16. У каких клеток он длиннее (нервных, мышечных)?
17. В чем преимущество миелинизации нейронов?
18. Сальтаторное проведение нервного импульса — это...
19. По функции вся нервная система подразделяется на...
20. Где располагаются проводящие пути спинного мозга?
21. Где в спинном мозге располагаются двигательные нейроны?
22. Как подразделяются спинномозговые нервы по функциям?
23. В какой доле больших полушарий располагается сенсорная зрительная зона?
24. Рефлекс — это...
25. Регуляция функций в организме осуществляется...
26. Составьте рефлекторную дугу в правильном порядке:
 - а) вставочный нейрон; б) рецептор; в) двигательный нейрон;
 - г) чувствительный нейрон; д) рабочий орган.
29. По расположению отделов (анатомически) нервную систему делят на...
30. Путь, по которому нервные импульсы идут от рецептора к рабочему органу, называется...
31. Место контактов нейронов называют...
32. Рецептор — это...
33. Поставьте в правильном порядке структуры спинного мозга, начиная от центра к периферии:
 - 1 — серое вещество; 2 — белое вещество; 3 — спинномозговой канал.
34. Рефлекторная дуга — это ...

11

ДВИЖЕНИЕ

§ 111. СТРОЕНИЕ ПОПЕРЕЧНО-ПОЛОСАТОЙ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ. СТРУКТУРА МИОФИБРИЛЛ (ЗОНЫ, ДИСКИ, САРКОМЕРЫ, АКТИН, МИОЗИН)

Сегодня на уроке вы:

- изучите строение поперечно-полосатой мышечной ткани; структуру миофибрилла (зоны, диски, саркомеры, актин, миозин);
- научитесь исследовать ультраструктуру поперечно-полосатых мышц.

Знаете ли вы?

- Как устроена поперечно-полосатая мышца? Что является сократительным аппаратом поперечно-полосатой мышцы? Что собой представляет саркомер? Какова роль сократительных белков?

Ключевые понятия:

- *миофибрилла*
- *диски*
- *саркомер*
- *саркоlemma*
- *T-система*
- *актин*
- *миозин*

В организме имеются три типа мышц, различающихся по характеру иннервации — произвольные (поперечно-полосатые), непроизвольные (гладкие) и сердечная мышца.

Поперечно-полосатая мышца состоит из множества функциональных единиц — мышечных волокон или мышечных клеток. Они имеют цилиндрическую форму и расположены параллельно друг другу. Это многоядер-

ные клетки 0,01—0,1 мм в диаметре, достигающие нескольких сантиметров в длину. Ядра в волокне расположены около его поверхности. Пучки мышечных волокон окружены *коллагеновыми волокнами* и *соединительной тканью*; между волокнами тоже находится коллаген. На конце мышц коллаген с соединительной тканью образует сухожилия, которые служат для прикрепления мышц к разным частям скелета. Каждое волокно окружено *мембраной-сарколеммой*, которая по своему строению сходна с обычной плазматической мембраной. Саркоlemma представляет собой эластичную, способную к возбуждению мембрану, функцией которой является открытие и закрытие ионных каналов в ответ на возбуждающие стимулы и их дальнейшая передача по T-системе.

В составе мышечных волокон собственно сократительным аппаратом являются *миофибриллы*, которые и создают характерную поперечную



Рис. 193. Саркоплазматический ретикулум и Т-система

исчерченность. Каждая миофибрилла состоит в среднем из 2500 протофибрилл. Толстые протофибриллы состоят из белка миозина, а тонкие — из белка актина. *Миозин* и *актин* в миофибрилле пространственно отделены друг от друга. Содержание миозина в мышцах велико: в 1 кг мышц содержится около 200 г белков, из них 100 г миозина. Другой белок — актин содержится в меньшем количестве — на 1 кг мышц приходится 30 г.

Между миофибриллами находится множество митохондрий (саркосомы). Цитоплазма мышечного волокна называется саркоплазмой и содержит сеть внутренних мембран — саркоплазматический ретикулум. Поперек волокна и между миофибриллами проходит система трубочек, называемая Т-системой. В некоторых местах трубочки Т-системы располагаются между двумя цистернами саркоплазматического ретикулума. Комплекс из одной Т-трубочки и двух цистерн называется *триадой*. Трубочки и цистерны соединены поперечными мембранными мостиками. Цистерны участвуют в захвате и высвобождении ионов кальция, концентрация которых в саркоплазме влияет на сократительную функцию мышечного волокна (рис. 193, 194).

Миофибриллы разделены на правильно чередующиеся участки (диски). Одни из этих участков обладают двойным лучепреломлением. В обыкновенном свете под микроскопом они кажутся темными. Это анизотропные участки, их обозначают буквой А. Другие участки выглядят светлыми, они не обладают двойным лучепреломлением. Это изотропные диски, обозначаемые буквой I. В середине диска А проходит светлая полоса H, посредине диска I — темная полоса Z, представляющая собой тонкую мембрану, сквозь поры которой проходят миофибриллы.

Участок миофибриллы между двумя линиями Z называется *саркомером*. Микроскопически саркомер состоит из чередующихся светлых и темных полосок и линий, обусловленных упорядоченным расположением толстых нитей актина и тонких нитей миозина. Длина саркомера в состоянии покоя варьирует и составляет 2,0—2,2 мкм.

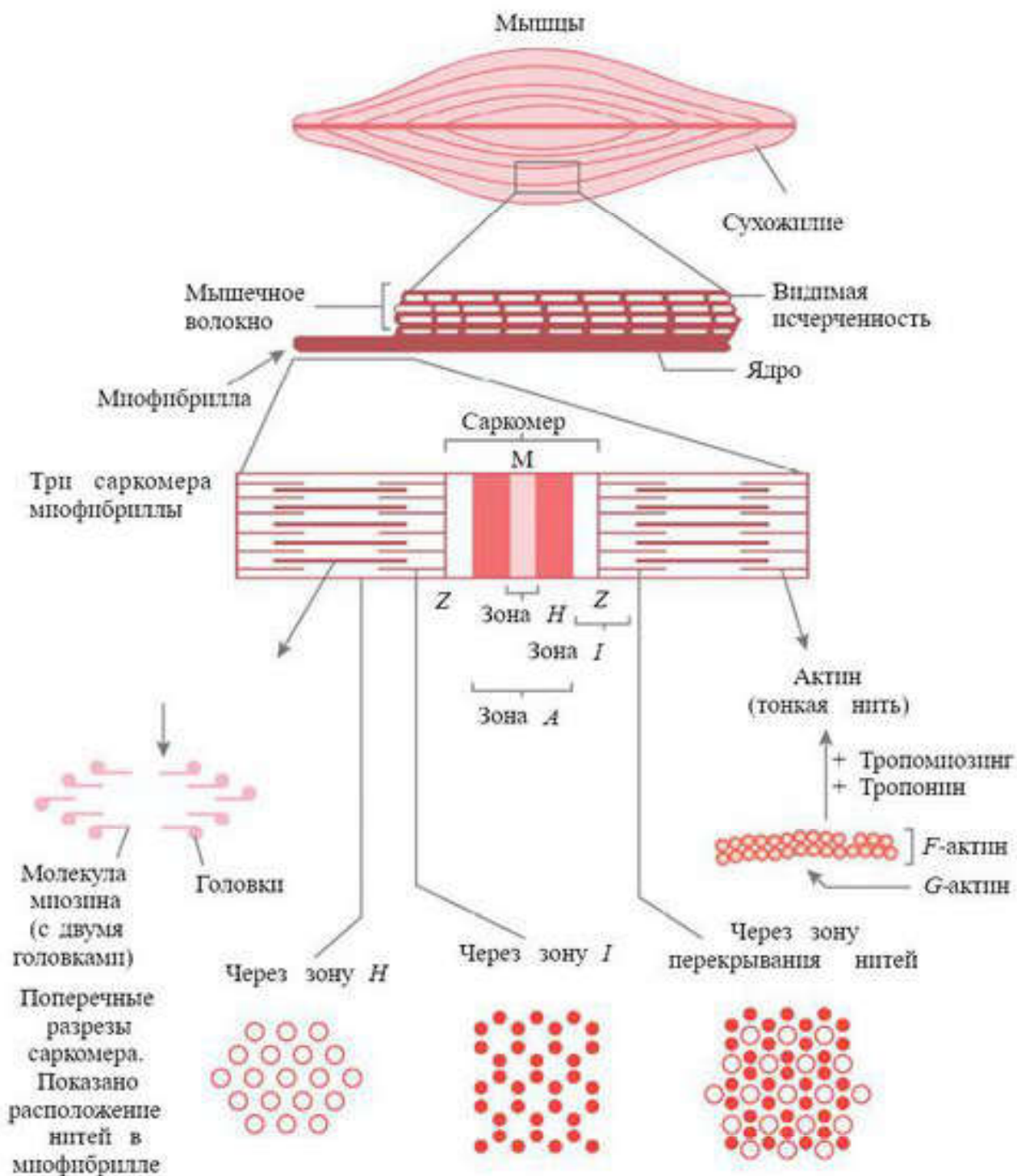


Рис. 194. Строение мышечного волокна

Таким образом, отрезок между двумя соседними саркомерами, содержащий только нити актина, называется I-диск. Между двумя I-дисками расположен А-диск, состоящий из миозина и актина. Н-диск содержит только миозин. При сокращении нити актина сдвигаются к центру миозиновой нити и Н-диск исчезает. Посредине проходит линия М, которая делит миозиновые нити на две равные части и удерживает их.

Каждая мнофибрилла образована несколькими тысячами последовательно расположенных саркомеров, которые являются сократительными элементами мышечного волокна (рис. 194).

Актин — тонкие филаменты. Каждая актиновая нить образована двумя спиральными тяжами из глобулярных молекул актина (G-актина), закрученными один вокруг другого. Одним концом филаменты прикреплены к Z-пластинке. Весь комплекс актиновых молекул называется F-актином, с ним связана молекула АТФ. Вокруг актина дополнительно закручены нити тропомиозина и на равных интервалах прикреплены молекулы тропонина, состоящие из трех субъединиц:

Тп-С — образует связь с ионами кальция;

Тп-Т — соединяет тропонин с тропомиозином;

Тп — блокирует образование мостовидных связей между миозином и актином.

Миозин — толстые филаменты. Молекулы миозина расположены между филаментами актина, имеют двойные головки, прикрепляющиеся с помощью шейки к шарнирному участку. Шейка молекулы обеспечивает ее подвижность и переходит в длинную хвостовую нить. Благодаря шарнирным участкам, миозин может образовывать обратимые связи с актином и вызывать взаимное скольжение двух нитей относительно друг друга.

В мышечном волокне содержатся и другие белки. Их функцией является поддержание структурной организации внутренних компонентов мышечного волокна, благодаря чему достигается стабилизация волокна и внутренние компоненты могут выдерживать нагрузки в продольном и поперечном направлениях.



Проверьте свои знания



1. Что является функциональной единицей скелетных мышц?
2. Что составляет сократительный аппарат мышечных волокон?
3. Как называется мембрана мышечного волокна?
4. Из каких белков состоит миофибрилла?
5. Какие участки выделяют в миофибрилле?



Охарактеризуйте, какими белками составлены диски А, Н, I на рис. 194.



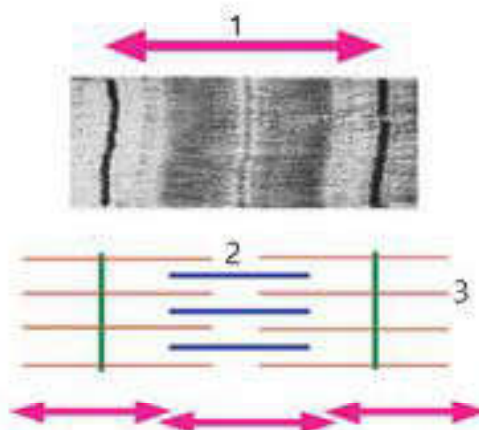
1. Дайте определение следующим понятиям:
Саркомер — ...
Саркоплазма — ...
Саркоплазматический ретикулум — ...
2. По указателям рисунка дайте названия частей саркомера.



Что происходит при сокращении мышечных волокон? Охарактеризуйте механизм сокращения.



Подготовьте вопросы к дискуссии по теме урока.



§ 112. МЕХАНИЗМ СОКРАЩЕНИЯ МЫШЕЧНОГО ВОЛОКНА. T-СИСТЕМА МЫШЕЧНОГО ВОЛОКНА

Сегодня на уроке вы:

- изучите механизм сокращения мышечного волокна, T-систему мышечного волокна;
- научитесь объяснять механизм мышечного сокращения.

Знаете ли вы?

- В каком случае может сокращаться мышечное волокно? Какие бывают типы сокращения мышечных волокон?

Ключевые понятия:

- рефрактерность
- изотоническое и изометрическое сокращение
- кимограф
- миограмма
- тетанус
- теория скользящих нитей
- явление электромеханического сопряжения
- T-система

При раздражении скелетного мышечного волокна сокращение будет происходить лишь в том случае, если стимулирующий импульс достигнет определенной пороговой величины или превысит ее (рис. 195). И это сокращение будет для данных условий максимальным. Даже значительное увеличение силы раздражителя не приведет к большему укорочению волокна или увеличению развиваемой им силы. Такое явление называют реакцией типа “все или ничего”. Слабый

раздражитель, не способный вызвать сокращение мышечного волокна, называется *подпороговым*.

После окончания ответа наступает период абсолютной рефрактерности, когда волокно не способно сокращаться. Затем наступает период относительной рефрактерности. В это время только сильный стимул может вызвать сокращение. *Период рефрактерности — отрезок времени, в течение которого происходит восстановление исходного состояния мышечного волокна.*

В ответ на стимуляцию мышца совершает механическую работу — сокращается, и это может привести либо к укорочению мышцы, либо к тому, что мышца будет развивать напряжение без изменения длины (если оба конца мышцы неподвижно закреплены).

Различают три типа сокращения мышечного волокна: *изотоническое* — укорочение мышцы без формирования напряжения (при разрыве сухожилий); *изометрическое* — сокращение без изменения длины мышцы при попытке поднять непосильный груз; *ауксотоническое* — сокращение, при котором длина мышцы изменяется по мере увеличения ее напряжения (подъем и опускание груза).

Мышечное сокращение можно изучать с помощью кимографа. Кимограф (от греч. *kyma* — волна и *grapho* — писать) прибор для графической регистрации физиологических процессов (например, сердцебиений,

дыхания, мышечных сокращений и др.) Запись всех сокращений соответствующих мышц называется *миограммой*. Выделяют одиночное (наружные мышцы глазного яблока, век) и двукратное сокращение мышц. При ритмическом сокращении мышца будет находиться в состоянии тетануса — период максимально возможного напряжения мышцы.

В 1954 г. группа ученых — Х. Хаксли, А. Хаксли, Дж. Хэнсон, Р. Нидергерке — сформулировала теорию, объясняющую мышечное

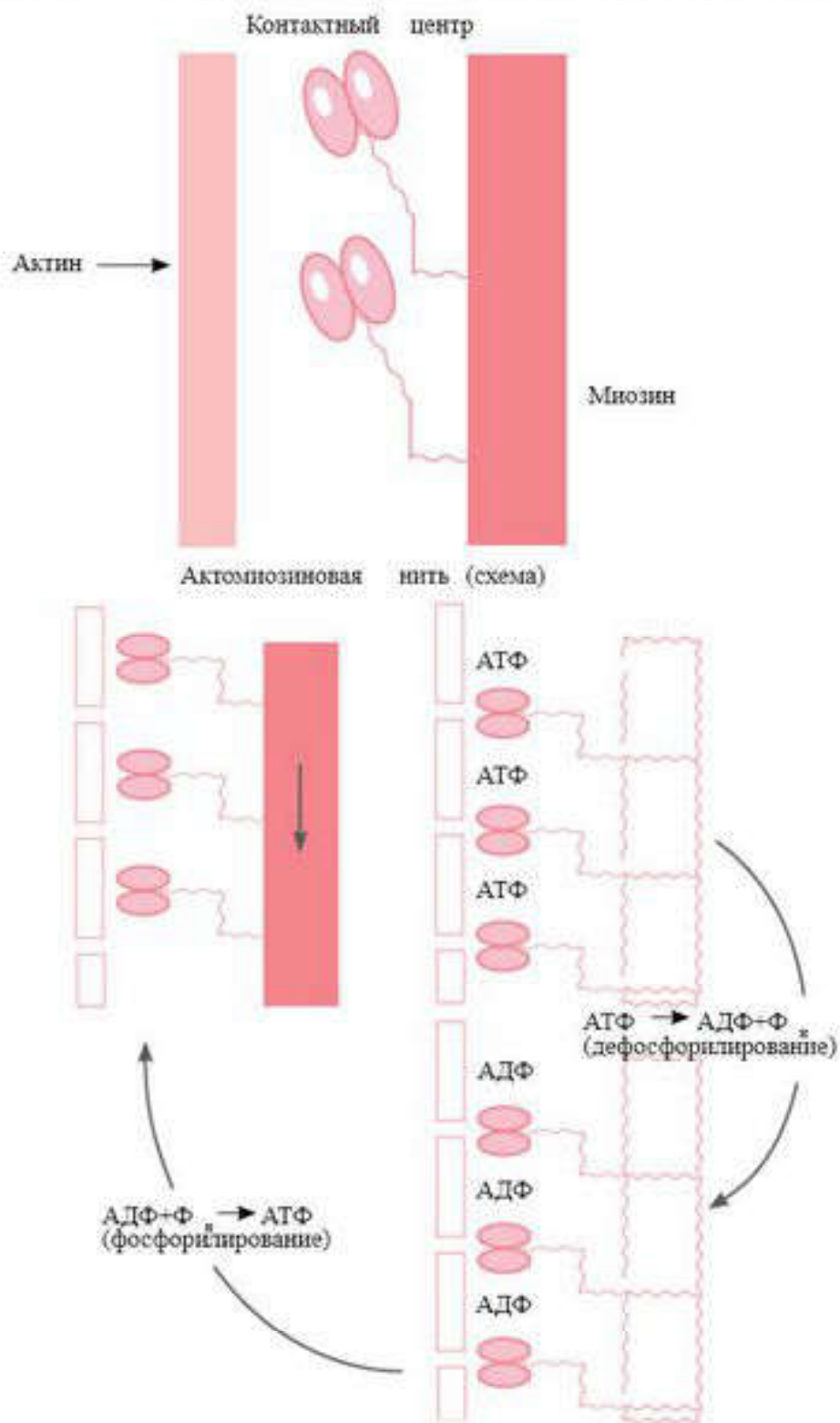


Рис. 195. Схема механизма скользящих нитей при мышечном сокращении

сокращение скольжением нитей. Они обнаружили, что длина диска А оставалась постоянной в расслабленном и укороченном саркомере. Поэтому предположили, что два набора нитей — актиновые и миозиновые, причем одни входят в промежутки между другими, и при изменении длины саркомера эти нити скользят друг по другу. Во время сокращения актиновые нити сдвигаются по направлению к середине саркомера. Возникла гипотеза, что головки миозиновых нитей служат своего рода “крючками” и, прикрепляясь к F-актину, образуют поперечные мостики. Затем их конфигурация меняется так, что молекулы актина втягиваются внутрь диска А (рис. 197). По окончании этого процесса миозиновые головки отделяются от актина и “прицепляются” к другим, отдаленным участкам актина. Саркомер способен укорачиваться на 30% своей длины. Цикл присоединения и отделения поперечных мостиков может повторяться многократно с различной частотой в за-

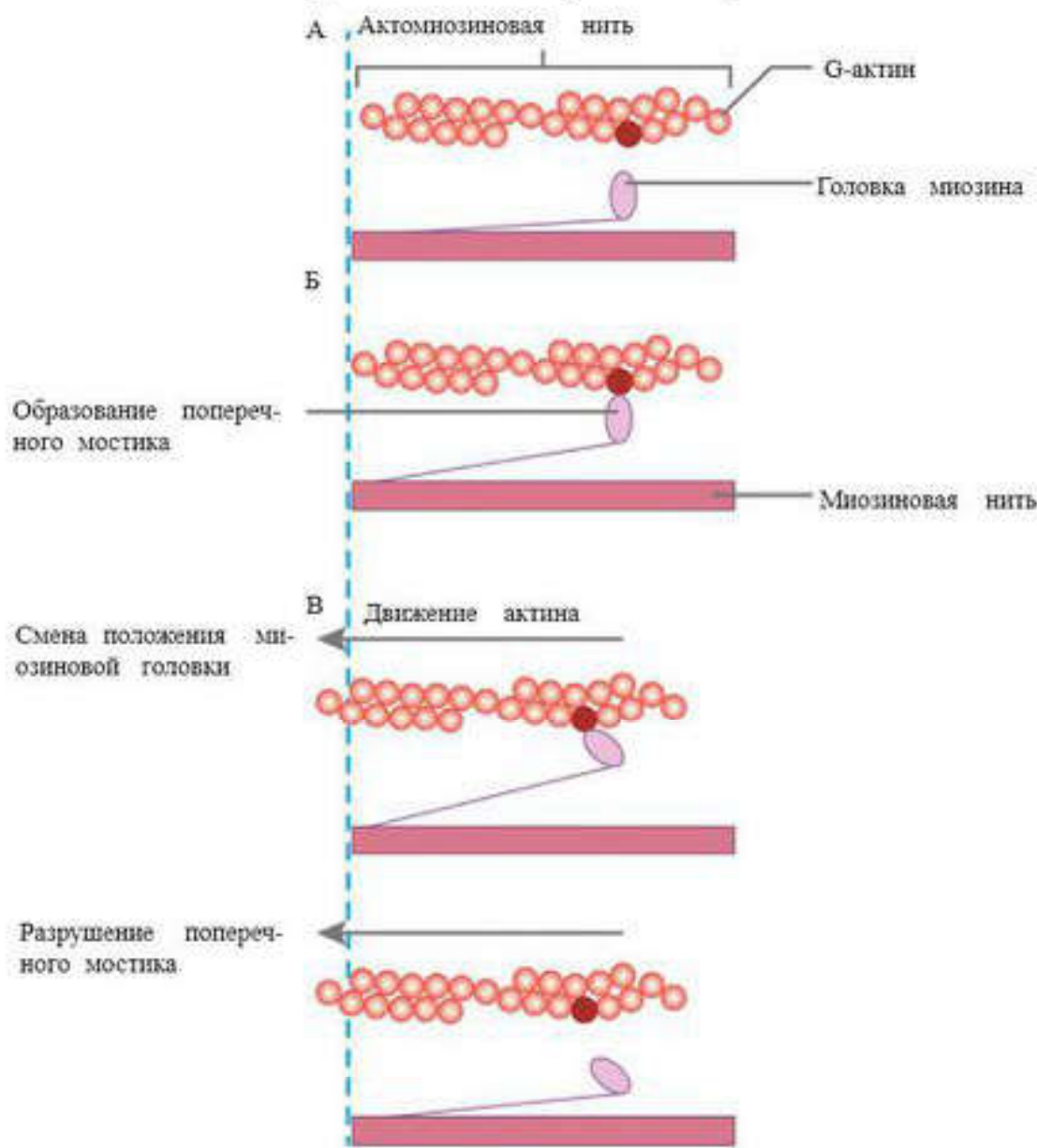


Рис. 196. Электромеханическое сопряжение (тропомиозин и тропонин не изображены)

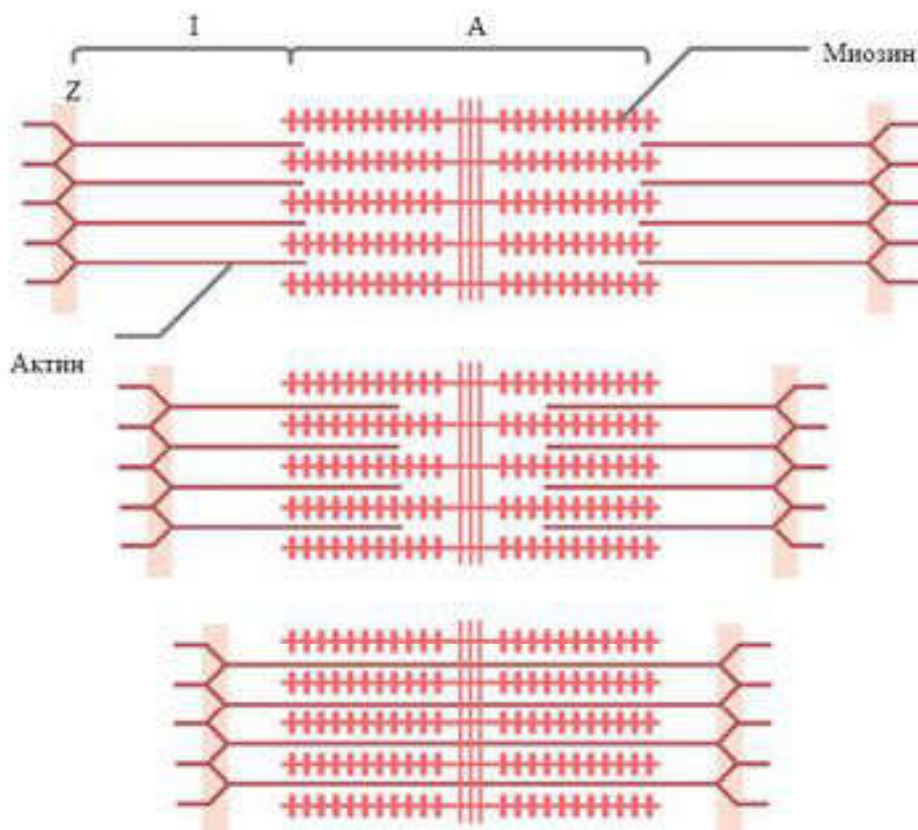


Рис. 197. Схема сокращения саркомера.
Актиновые нити скользят вдоль нитей миозина

висимости от скорости укорочения. Для осуществления полного цикла одного мостика требуется одна молекула АТФ.

Современные представления о механизме мышечного сокращения дополняют теорию скольжения нитей описанием и подчеркиванием роли Т-системы в этом процессе (рис. 193).

В состоянии покоя саркомер содержит ионы магния и АТФ, но очень мало свободных ионов кальция. В этих условиях актиновые нити находятся в “нерабочем состоянии” из-за тропомиозина, блокирующего участки, к которым должны прикрепляться головки миозина; поэтому эти головки притянуты к продольной оси миозиновой нити и удалены от актина.

При стимуляции мышечного волокна нервным импульсом по саркомере распространяется волна деполяризации, которая по Т-системе переходит внутрь саркомера, где в цистернах триады стимулирует высвобождение из них ионов кальция. Ионы кальция связываются с тропонином С, который вместе с тропонином I снимает блокировку образования мостиков между актином и миозином (рис. 194). Тропомиозин смещается, головка миозина, связываясь с актином, образует актомиозиновый мостик. За счет энергии гидролиза АТФ изменяется угол отхождения поперечных мостиков, что ведет к подтягиванию актиновой нити по направлению к середине саркомера. В саркомере создается сила, которая стремится вызвать укорочение саркомера. Это

явление, объясняющее механизм мышечного сокращения, получило название *электромеханическое сопряжение* (рис. 196).

При затухании возбуждения в саркомере ионы кальция с помощью АТФ-зависимого кальциевого насоса откачиваются назад в цистерны триад. Саркомер расслабляется. Включается система блокировки тропонин — тропонин, мостики разрываются, актин и миозин переходят в “выключенное состояние” (рис. 197).



Проверьте свои знания



1. Что является главным свойством мышечного волокна?
2. Какие периоды выделяют при сокращении мышечного волокна?
3. Назовите типы мышечного сокращения, приведите примеры.
4. В чем сущность теории скользящих нитей?
5. Какова роль Т-системы при мышечном сокращении?



Объясните механизм электромеханического сопряжения.



Как изменяется длина дисков А, Н, I при сокращении саркомера? Объясните эти изменения.



Подготовьте мини-проект по теме урока.

§ 113. СТРОЕНИЕ, ЛОКАЛИЗАЦИЯ И ОБЩИЕ СВОЙСТВА БЫСТРЫХ И МЕДЛЕННЫХ МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН

Сегодня на уроке вы:

- изучите строение, локализации и общие свойства быстрых и медленных мышечных волокон;
- научитесь устанавливать связь строения, локализации и общих свойств быстрых и медленных мышечных волокон.

Знаете ли вы?

- С чем связан мышечный тонус? Какую природу имеет мышечный тонус? Из каких мышечных волокон состоят мышцы человека?

Ключевые понятия:

- *тонические и фазические волокна*
- *миоглобин*
- *белые и красные волокна*

Тонус скелетных мышц связан с поступлением к мышце нервных импульсов, возбуждающих попеременно различные мышечные волокна. Эти импульсы возникают в мотонейронах спинного мозга, активность которых поддерживается и регулируется импульсами, исходящими из вышележащих

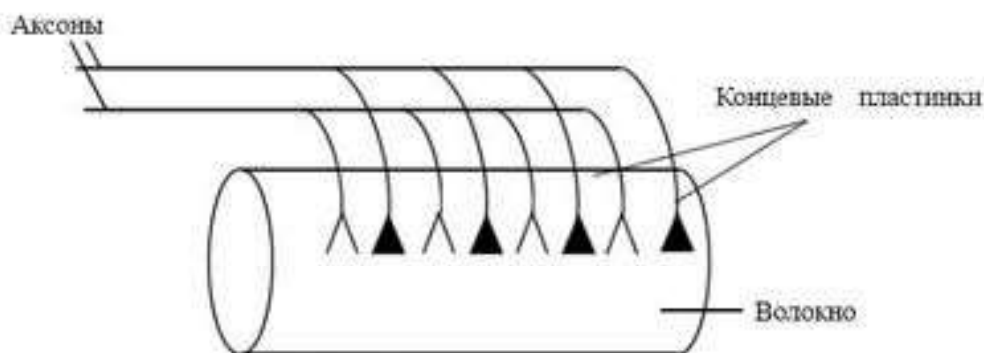


Рис. 198. Схема медленных волокон

центров и с периферии от проприорецепторов, находящихся в самих мышцах. Таким образом, тонус скелетных мышц имеет рефлекторную природу.

Выделяют два типа скелетных мышечных волокон, каждый из которых имеет свои физиологические особенности. Это медленные (тонические) и быстрые (фазические) волокна, в зависимости от скорости сокращения.

Медленные волокна — волокна I типа (МНС-I), или тонические (рис. 198) — красные, связанные с высоким содержанием миоглобина и цитохромовых пигментов. Содержат много митохондрий, но слабо развит саркоплазматический ретикулум и мало гликогена. Тонические волокна расположены в глубоких слоях мышц конечностей и тесно контактируют с капиллярами для ускорения обмена веществ. Иннервируются тонкими нервными волокнами в диаметре 5 мкм. На одном мышечном волокне располагаются несколько концевых пластинок — нервно-мышечных соединений двигательного аксона с мышечным волокном. Скорость проведения импульса составляет 2—8 м/с. Мембрана не обладает электрической возбудимостью. Каждый импульс приводит к высвобождению небольшого количества ацетилхолина. Поэтому степень деполяризации мембраны зависит от частоты стимуляции. В ответ на импульсы тонические волокна медленно сокращаются и медленно расслабляются, развивая небольшую силу. Это обеспечивает длительное сокращение мышцы, что важно для поддержания позы и приспособленности к длительным нагрузкам. Источником АТФ служит аэробное дыхание. При недостатке кислорода многие волокна продолжают работать за счет анаэробного гликолиза. В этом случае образуется молочная кислота и создается кислородная задолженность. Тепло по мере его выработки отводится от мышцы.

Быстрые волокна — волокна II типа (МНС-II), или фазические, (рис. 199) — расположены ближе к поверхности тела. Их еще называют “белыми” мышечными волокнами, так как в них мало или совсем отсутствует миоглобин. Эти волокна содержат мало митохондрий, но хорошо развит саркоплазматический ретикулум, что способствует

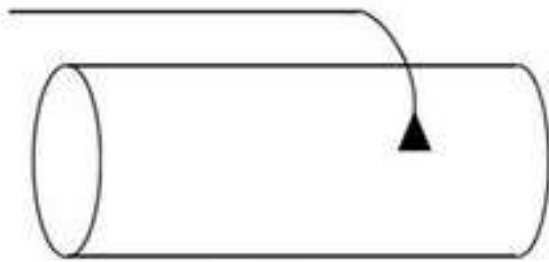


Рис. 199. Схема быстрых волокон

быстрому выбросу кальция. Быстрые волокна характеризуются обилием гликогеновых гранул, быстрым сокращением — в три раза быстрее, чем у медленных волокон, и также довольно быстро в них наступает утомление. Иннервируются толстыми нервными волокнами в диаметре 10—20 мкм и обычно на одном мышечном волокне бывает одна концевая пластинка. Скорость проведения импульса — 8—40 м/с. Мембрана обладает электрической возбудимостью, поэтому фазические волокна быстро сокращаются и способны на кратковременную работу. Источник АТФ — анаэробный гликолиз, так быстро возникает кислородная задолженность. Тепло поглощается волокнами, так как кровеносная система не обеспечивает его быстрого отведения.

У человека все мышцы состоят из волокон двух типов одновременно, но обычно один из них доминирует. Это имеет важное физиологическое значение. Тонические мышцы способны к медленному и длительному сокращению и, соответственно, их больше в мышцах-разгибателях, тогда как в сгибателях, предназначенных для быстрых реакций, преобладают фазические волокна. Примерами быстрых мышц являются глазодвигательные, икроножная.

Тонические мышечные волокна обладают высоким уровнем аэробной выносливости. Способность поддерживать мышечную активность в течение длительного времени известна как мышечная выносливость. Поэтому тонические волокна чаще всего задействуются во время нагрузок на выносливость, например, в марафонском беге, и во время большинства повседневных занятий, где требования к мышечной силе невысоки, например, при ходьбе.

Быстрые волокна обладают низкой аэробной выносливостью. При нормальной, малоинтересной деятельности быстрые волокна задействуются редко, но при “взрывных” нагрузках они преобладают и генерируют гораздо большую силу. Легко устают из-за своей ограниченной выносливости, поэтому волокна задействуются в основном при непродолжительной нагрузке на выносливость, например, при пробежке на 1 милю или заплыве на 400 м.



Проверьте свои знания



1. На какие типы делятся скелетные мышечные волокна?
2. Каково строение *тонического* волокна?
3. Что такое *быстрые* волокна?



Заполните в тетради сравнительную таблицу для двух типов мышечных волокон, ставя знак+.

№	Параметры сравнения	Тонические волокна	Фазические волокна
1	Низкая скорость сокращения		
2	Отличаются отсутствием миоглобина		
3	Быстрая утомляемость		
4	Активизируются при кратковременных нагрузках		
5	Высокое содержание миоглобина		
6	Высокий порог активации		
7	Устойчивы к усталости		
8	Высокий уровень кровоснабжения		
9	Низкая аэробная выносливость		
10	Способны к длительным нагрузкам		

§ 114. ТИПЫ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЕЧНЫХ ТКАНЕЙ ОТНОСИТЕЛЬНО АКТИНА

Сегодня на уроке вы:

- изучите типы скелетных мышечных тканей относительно актина и миозина;
- научитесь устанавливать связь строения, локализации и общих свойств быстрых и медленных мышечных волокон.

Знаете ли вы?

- Какова структура мышечного волокна? Что является основным компонентом саркомера? Какую функцию выполняют скелетные мышцы? Какова роль белков актина и миозина в этом?

Актин и миозин являются основными компонентами саркомера мышечного волокна, основной единицей сокращения поперечно-полосатых мышц. Мышцы представляют собой ткань, способную к сокращению, которая обеспечивает движение тела и подвижность органов. В соответствии с внешним видом сократительных волокон, мышцы можно подразделить на две основных группы: поперечно-полосатые и гладкие. Волокна поперечно-полосатых мышц называются так потому, что при большом увеличении можно видеть их характерную исчерченность. К этой группе относятся скелетные и сердечная мышцы. Скелетные мышцы обеспечивают подвижность скелета, а сердечная — сокращение сердца. Волокна гладких мышц не исчерченны и имеют веретено-

Ключевые понятия:

- *актин*
- *миозин*
- *саркомер*
- *миофибриллы*
- *филаменты*

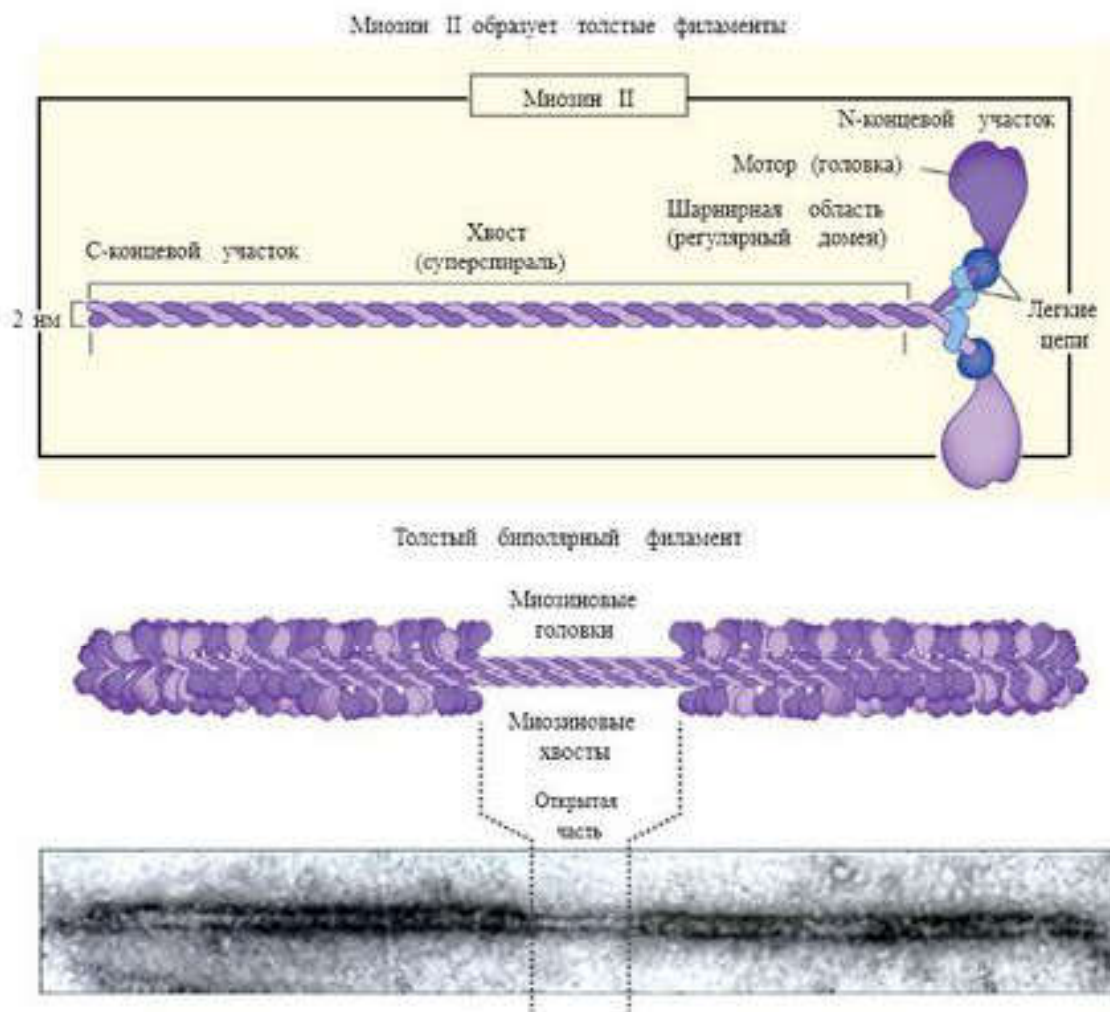


Рис. 200. Строение миозина

образную форму. Эти мышцы образуют стенки органов, например, мочевого пузыря, кровеносных сосудов и желудочно-кишечного тракта. Белковый мотор, который обеспечивает сокращение мышц, относится к семейству миозина II. Этот миозин принадлежит к числу наиболее распространенных белков позвоночных, он легко выделяется и поэтому является одним из хорошо изученных белков. Миозин II представляет собой гексамерный комплекс, состоящий из двух тяжелых цепей и двух пар различных легких цепей (рис. 200).

Поперечно-полосатые мышцы состоят из пучков мышечных волокон. Последние представляют собой крупные многоядерные клетки, длина которых варьирует от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров, а диаметр составляет 20—100 мкм. Каждое мышечное волокно состоит более чем из 1000 миофибрилл, которые представляют собой палочковидные органеллы, способные к сокращению.

Миофибриллы состоят из повторяющихся единиц, которые называются *саркомеры*. Саркомеры расположены друг за другом и обуславливают характерную исчерченность мышц. Саркомеры представляют собой основные сокращающиеся единицы поперечно-полосатых мышц; при сокращении и расслаблении мышцы их длина изменяется.

Как показано на рисунке 196, саркомеры содержат толстые филаменты, состоящие, главным образом, из биполярных филаментов миозина II, и тонких филаментов, которые содержат актиновые нити и регуляторные белки. Оперенные концы актиновых филаментов с одной стороны прикреплены к структуре саркомера, которая носит название Z-диск. При этом все актиновые филаменты с одной стороны Z-диска имеют одинаковую полярность. Актиновые филаменты прикрепляются к Z-дису и копируются за счет связывания с копирующим белком (CapZ), что предотвращает деполимеризацию актиновых филаментов. Заостренные концы актиновых филаментов ориентированы к центру саркомера и копированы тропоподулином (рис. 194).



Рис. 201. Строение актина

С актиновыми филаментами также взаимодействует белок небулин; он может регулировать сборку волокон и длину тонких филаментов. Толстые филаменты находятся в центре, на M-линии, между Z-дисками. M-линия представляет собой структуру, состоящую из гибко связанных биполярных толстых филаментов; эти связи скрепляют толстые филаменты, гексагонально расположенные внутри. Наряду с M-линией, белок филаментов, который называется титином, образует эластичные связи между Z-дисками и миозиновыми волокнами (рис. 202, 203). Титин обеспечивает центровку толстых филаментов в саркомере и действует как пружина, которая не допускает растягивания саркомера. Тонкие и толстые филаменты переплетаются, образуя трехмерную решетчатую структуру. Поскольку саркомер биполярен, в обеих половинах миозиновые моторы по отношению к актину ориентированы одинаково. При сокращении моторные домены миозина толстых филаментов взаимодействуют с актином тонких филаментов. При сокращении саркомер укорачивается за счет скольжения тонких и толстых филаментов

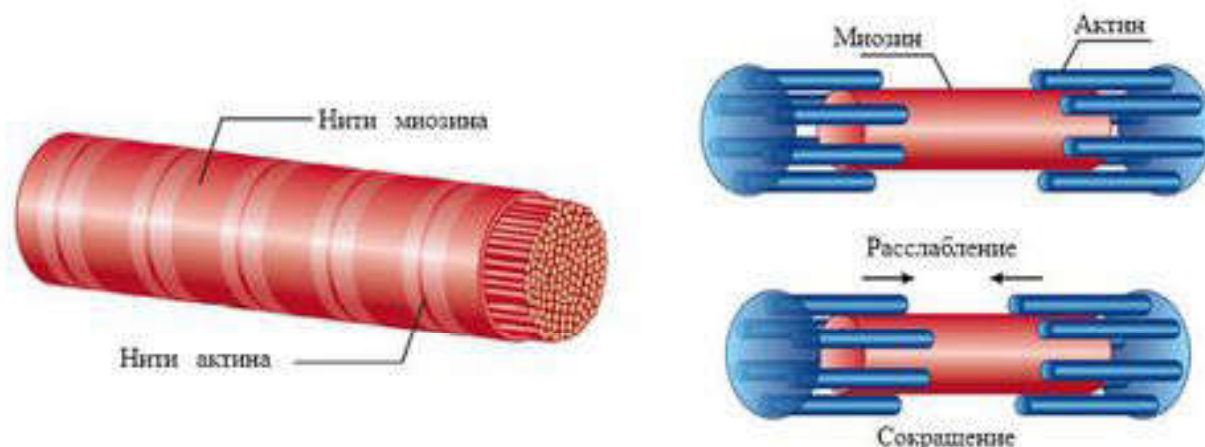


Рис. 202. Участие актина и миозина в сокращении и расслаблении мышечного волокна

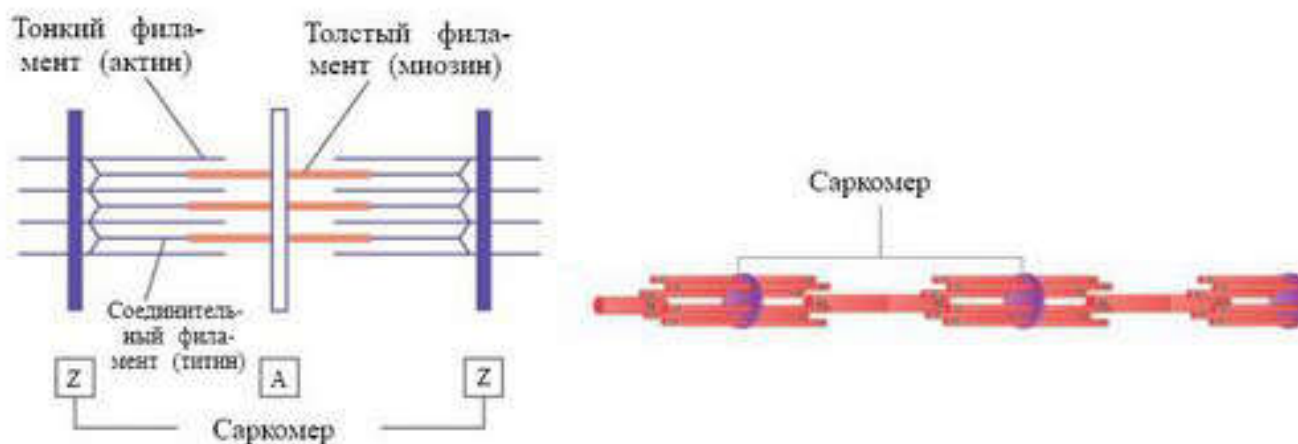


Рис. 203. Строение мышечного волокна. Саркомер

относительно друг друга, что сближает соседние Z-диски к центру саркомера (рис. 203).

По мере продвижения головок миозина к зазубренным концам актиновых филаментов, длина толстых и тонких филаментов остается постоянной (рис. 200). Ширина саркомера в расслабленной мышце позвоночных составляет около 3 мкм, а при сокращении она становится около 2,4 мкм (рис. 204, 205). В мышечном волокне укорачиваются группы, состоящие из тысяч саркомеров, что приводит к укорачиванию всей мышцы. Общая длина укороченного мышечного волокна определяется двумя факторами: длиной, на которую укорачивается каждый саркомер, и количеством саркомеров в группе. Процентная величина, на которую происходит укорачивание мышечных волокон, одна и та же, независимо от их длины. Величина усилия, генерируемого саркомером, пропорциональна числу акто-миозиновых взаимодействий в половине саркомера, а величина усилия, которое развивает мышечное волокно, пропорционально числу параллельно расположенных саркомеров. Скелетные мышцы состоят из мышечных волокон, содержащих миофибриллы и представляющих собой удлиненные клетки.

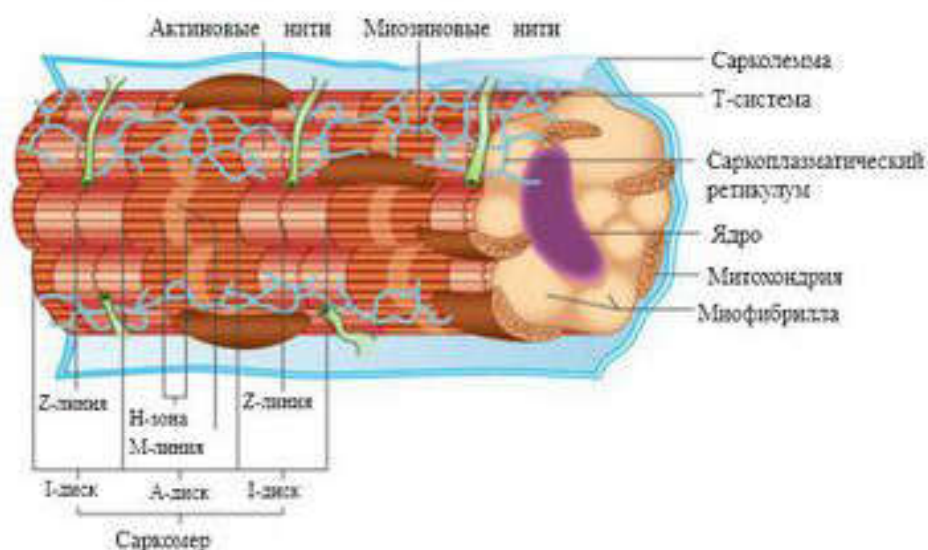


Рис. 204. Структура мышечного волокна

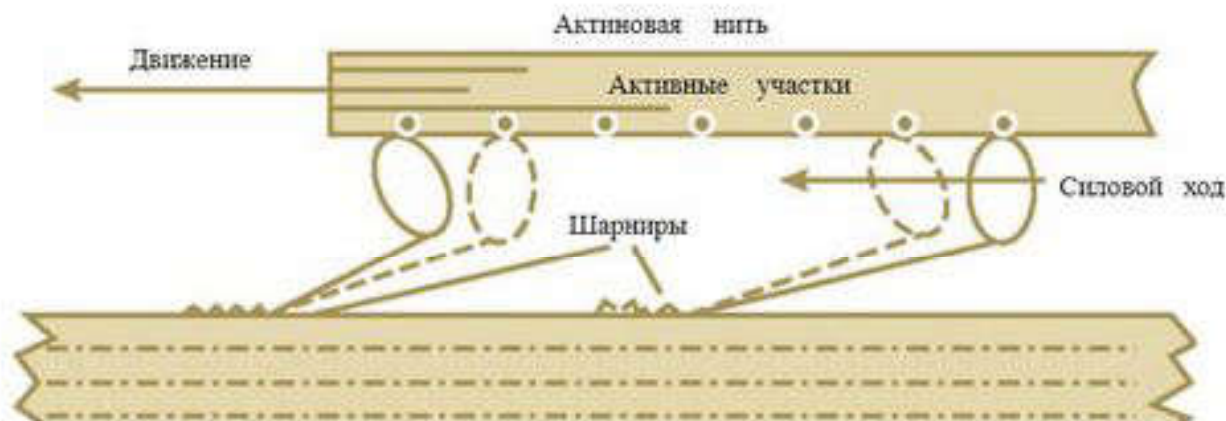


Рис. 205. Укорочение саркомера и сокращение мышечного волокна

Миофибриллы способны к сокращению и содержат повторяющиеся структурные единицы, называемые *саркомерами*. Сокращение поперечно-полосатых мышц регулируется уровнем Ca^{2+} в цитозоле, который определяет положение комплекса тропонин/тропомиозин относительно миозина и актiна.



Проверьте свои знания



1. Саркомер — это...
2. Назовите основные компоненты саркомера мышечного волокна.
3. Что такое миофибриллы?
4. От чего зависит поперечная исчерченность мышечных волокон?



Охарактеризуйте филаменты как структуры миофибрилл.



Используя средства массовой информации, решите задачу: за счет чего увеличивается мышечная масса у тяжелоатлетов?



Что является сократительной единицей мышечного волокна?



1. Установите правильную последовательность смены режима мышечных сокращений при увеличении частоты раздражения:
 - 1) зубчатый тетанус, гладкий тетанус, одиночное сокращение;
 - 2) гладкий тетанус, зубчатый тетанус, одиночное сокращение;
 - 3) одиночный тетанус, зубчатый тетанус, гладкий тетанус;
 - 4) все неверно.
2. Подготовьте мини-проект и презентацию по теме параграфа.

Интересно знать!

На ежедневное сокращение мышц уходит почти 50 процентов всей энергии тела. Даже если вы не занимаетесь спортом, около 40% энергии, получаемой от расщепления молекул, уходит именно на сокращение мышц, при выполнении обычных действий. По этой причине спортсмены перерабатывают свой рацион, увеличивая порции, и делая упор на богатый энергией белок.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБОБЩЕНИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИИ ЗНАНИЙ ПО РАЗДЕЛУ

1. Из каких функциональных единиц состоят поперечно-полосатые мышцы?
2. Что называют триадой?
3. Что является сократительными элементами мышечного волокна?
4. Что собой представляет актин?
5. Какова структура миозина?
6. Охарактеризуйте Т-систему.
7. Составьте схему сокращения саркомера.
8. С чем связан тонус мышц?
9. Что собой представляют медленные мышечные волокна?
10. Как осуществляется их сократимость?
11. Где располагаются быстрые мышечные волокна?
12. Как осуществляется их функция?
13. Что собой представляет миозин II?
14. Как его образно называют при сокращении мышц?
16. Из чего состоят миофибриллы?
17. Что является медиатором в синапсах скелетных мышц?
18. Как называется сокращение мышцы, при котором оба конца неподвижно закреплены?
19. Как называется сокращение мышц, возникающее при раздражении сверхпороговых импульсов, в которых интервал между импульсами больше, чем длительность одиночного сокращения?
20. Сокращение мышц в результате раздражения серией сверхпороговых импульсов, каждый из которых действует в фазу расслабления предыдущего, называется...
2. Вставьте пропущенные слова.
 1. Мышцы являются... частью опорно-двигательного аппарата; скелетные мышцы образованы... мышечной тканью.
 2. Каждое мышечное волокно снаружи покрыто..., внутри которой находятся сократительные... с множеством...
 3. Миофибриллы состоят из белков двух типов:... и..., при этом выделяют... мышечные волокна, сокращающиеся медленно, но долго сохраняющие работоспособность, и... мышечные волокна, быстро сокращающиеся, но и быстро утомляющиеся.
 4. Для обеспечения энергией мышцы активно снабжаются..., приносящей им... и... вещества, и удаляющей продукты распада.
 5. Скелетные мышцы прикрепляются к... при помощи..., срастающихся с...
 6. Мышцы головы делятся на... и..., прикрепляющиеся к поверхности черепа и коже, а поддержание равновесия и движения головы осуществляется мышцами...
 7. Мышцы... образуют стенки брюшной полости, влияют на работу... органов, участвуют в сгибании... и дыхательных движениях.
 8. Важнейшая мышца пояса передних конечностей – ..., сгибает руку в локтевом суставе... мышца, а разгибает... мышца.
 9. Мышцы, управляющие движениями бедер, одним концом прикрепляются к... костям, другим к... кости, самая длинная мышца бедра и всего тела человека – ...
 10. Весь комплекс движений в суставах человека обеспечивается согласованной работой мышц – ... и мышц – ..., работа которых бывает..., например длительное стояние, или..., например бег, ходьба.
 11. Работой мышц управляет... система, без работы мышцы со временем..., но длительная работа без отдыха вызывает...

12. На работоспособность мышц влияют занятия ...трудом и состояние нервной системы.

3. Дайте краткий ответ из одного-двух предложений.

1. Перечислите основные функции мышечной ткани в организме.

2. Какие особенности внутреннего строения обеспечивают функциональную активность мышц?

3. Объясните целесообразность прикрепления мышц к костям при помощи сухожилий.

Все ли сухожилия одинаковы по форме?

4. Какова особенность мимических мышц?

5. Только у млекопитающих есть особая мышца – диафрагма. Какова ее функция?

6. Какую работу выполняют мышцы спины?

7. Назовите несколько самых крупных мышц человеческого тела.

8. Что такое «работа» мышц? Охарактеризуйте основные типы мышечной работы.

9. От чего зависит работоспособность мышц?

4. Дайте полный развернутый ответ.

1. Почему в морозный день лучше играть в снежки, чтобы не замерзнуть, чем неподвижно стоять, даже в теплой шубе?

2. От чего вы быстрее устанете: от длительного стояния или длительной ходьбы по комнате?

12

БИОМЕДИЦИНА И
БИОИНФОРМАТИКА§ 115. ПРИМЕНЕНИЕ БИОМЕХАНИКИ В РОБОТОТЕХНИКЕ.
БИОМЕХАНИКА ИНЖЕНЕРНАЯ (ЭКЗОСКЕЛЕТОНЫ,
РОБОТОТЕХНИКА)

Сегодня на уроке вы:

- изучите применение биомеханики в робототехнике, биомеханику инженерную (экзоскелетоны, робототехника);
- научитесь исследовать применение биомеханики в робототехнике.

Знаете ли вы?

- Какой раздел науки изучает биомеханика? На ваш взгляд, где может быть применена биомеханика? По вашему мнению, какое будущее у биомеханики?

Ключевые
понятия:

- биомеханика
- робототехника
- воздушные мышцы
- нитиноловая проволока

Биомеханика — это раздел науки, изучающий двигательные возможности и двигательную деятельность живых существ. Наибольший практический интерес представляет изучение движений человека и высших животных. Первые труды о движениях животных написаны еще

Аристотелем (384—322 гг. до н. э.). На становление биомеханики оказали влияние мыслители прошлого: Гален (131—202 гг.), Леонардо да Винчи (1452—1519 гг.), Микеланджело (1475—1564 гг.), Джованни Альфонсо Борелли (1608—1679 гг.) — автор первой книги по биомеханике “Движения животных”, И. М. Сеченов (1829—1905 гг.), П. Ф. Лесгафт (1837—1930 гг.), А. А. Ухтомский (1875—1942 гг.) и основоположник русской биомеханической школы Н. А. Бернштейн (1896—1966 гг.), которые много сделали для развития биомеханики как науки. В последнее время развиваются:

- инженерная биомеханика (связана с робототехникой);
- медицинская биомеханика (профилактика травматизма и протезирование);
- эргономическая биомеханика (связь человека с живой природой).

Системы движения и привода роботов. Мы остановимся на следующих конструкциях: воздушные мышцы, нитиноловая проволока.

Воздушные мышцы. Воздушная мышца представляет собой простое устройство, предложенное в 1950-х г. Дж. Л. Мак Киббеном.

Подобно биологическому прототипу воздушная мышца сокращается при активировании. Интересен тот факт, что воздушная мышца представляет собой достаточно точную копию биологической мышцы-прототипа, что позволяет исследователям, прикрепляя подобные мышцы к точкам скелета, соответствующим положению “живой” мускулатуры, моделировать биомеханические и иннервационные процессы низкого уровня, характерные для биологической мышцы. В научной литературе подобные конструкции также называются воздушными мышцами Мак Киббена, искусственными пневматическими мышцами Мак Киббена и “Резиномышцами”.

Применение. Воздушные мышцы находят применение в робототехнике, биомеханике, создании искусственных протезов конечностей и промышленности. Основной причиной, по которой экспериментаторы и любители охотно используют воздушные мышцы, является простота их конструкции и легкость использования в сравнении с обычными пневматическими цилиндрами. Воздушные мышцы имеют малый вес, “гибкую” конструкцию и высокое отношение развиваемой ими силы по отношению к собственному весу (400 : 1); они выдерживают продольное скручивание, не требуют параллельности закрепления концов и могут быть изогнуты внешним ограничителем без нарушения работы.

Принцип работы воздушной мышцы. Воздушная мышца состоит из двух основных частей: внутренней растягивающейся мягкой резиновой трубки и внешней сетчатой ячеистой оплетки (рукава), изготовленного

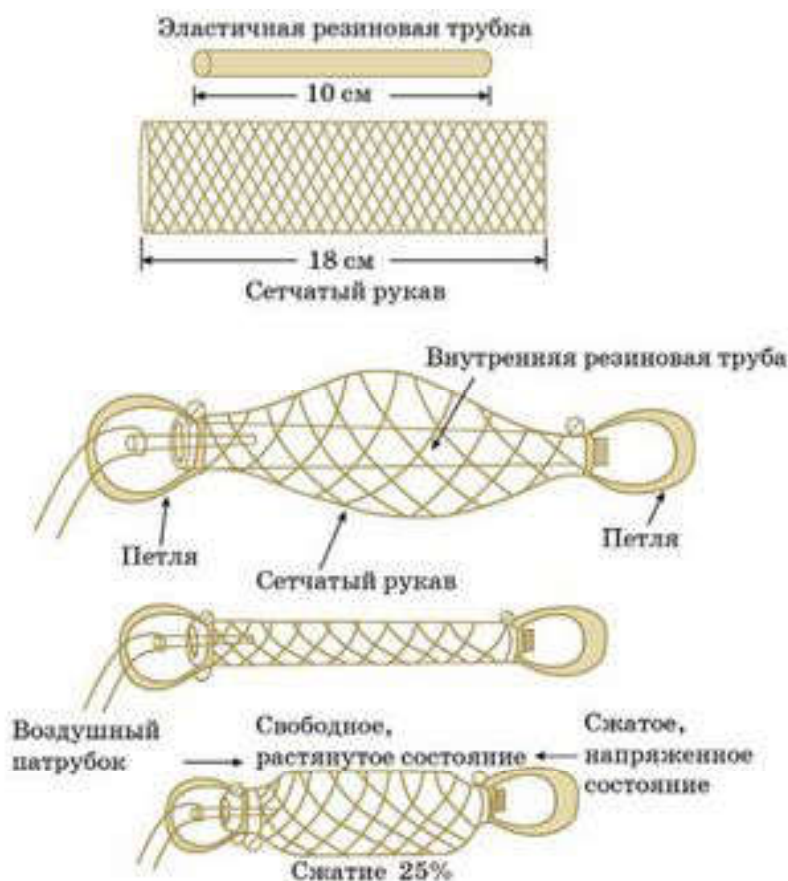


Рис. 206. Воздушная мышца

из капрона. Резиновая трубка называется “внутренним пузырьем” и заключена внутрь рукава оплетки (рис. 206).

Устройство и работа воздушной мышцы. Прочие компоненты включают воздушный патрубок на одном конце резиновой трубки и две петли на каждом из концов воздушной мышцы, позволяющие прикрепить мышцу к остальной части конструкции. При подаче давления во внутренний пузырь он расширяется и давит изнутри на стенки рукава оплетки, что вызывает увеличение его диаметра. Физические характеристики рукава таковы, что его продольное сокращение пропорционально увеличению его диаметра, что обуславливает появление силы сокращения в воздушной мышце. Необходимо отметить, что для правильной работы мышцы в состоянии “покоя” она должна быть растянута или нагружена. В противном случае эффект сжатия не будет выражен. Как правило, подобные конструкции воздушной мышцы способны сжиматься до 25% от их первоначальной длины.

Нитиноловая проволока. Нитинол представляет собой сплав, относящийся к классу материалов, обладающих “памятью” формы. Нитинол обычно выпускается в виде проволоки (рис. 207). При нагревании материал способен сокращаться до 10% от первоначальной длины. Подобное сокращение способно производить линейное движение. Кроме свойства сокращения, этот сплав обладает свойством “памяти”. Эффект памяти является уникальным свойством этого сплава. При нагревании до температуры критического перехода сплав автоматически приобретает первоначально заданную форму. Процесс задания первоначальной формы, которую “помнит” материал, называется *процедурой термального отжига*. Сплав принудительно заключается в требуемую форму и подвергается процессу отжига при температуре выше критической. Такой процесс приводит к изменению кристаллической решетки сплава. После этого при любом повышении уровня температуры выше критической материал “вспомнит” приданную ему первоначально форму. Изделие из такого материала можно подвергать изгибу или скручиванию, но оно обязательно примет исходную форму при критическом нагревании. Эти



Рис. 207. Бабочка с нитиноловой проволокой

уникальные свойства определяются структурой кристаллической решетки сплава. Возвратная сила может достигать 1500 грамм на кв. см. Вряд ли кто-то будет использовать материал столь большого поперечного сечения. Даже достаточно тонкая проволока способна производить очень большую силу. К примеру, проволока диаметром 6 мм создает возвратную силу в 350 грамм. Объем нитиноловой проволоки при сокращении до уровня 10% остается постоянным. По мере сокращения ее диаметр пропорционально возрастает, обеспечивая постоянство объема. Наиболее простым способом

нагревания нитиноловой проволоки является пропускание через нее постоянного электрического тока. Однако длительное пропускание постоянного тока может привести к разрушению проволоки в силу ее неравномерного омического нагрева. Повреждений проволоки при нагревании и поддержании в нагретом состоянии можно избежать, используя широтно-импульсный источник постоянного тока.



Проверьте свои знания:



1. Биомеханика — это...
2. Кем из выдающихся людей впервые был представлен опыт использования биомеханики?
3. Как устроен принцип работы воздушной мышцы?
4. Где применяются воздушные мышцы в практической деятельности человека?



Охарактеризуйте принцип работы нитиноловой бабочки. Подумайте, где можно применить бабочку.



Подготовьте сообщение и электронную презентацию на тему "Экзоскелетоны, робототехника".

§ 116. БИОМЕХАНИКА МЕДИЦИНСКАЯ (ПРОТЕЗИРОВАНИЕ). БИОМЕХАНИКА ЭРГОМЕТРИЧЕСКАЯ (ОПТИМИЗАЦИЯ)

Сегодня на уроке вы:

- изучите биомеханику медицинскую (протезирование), биомеханику эргометрическую (оптимизация);
- научитесь исследовать применение биомеханики в робототехнике.

Знаете ли вы?

- Каковы задачи биомеханики в медицине? Каковы возможности биомеханики в медицине? Что значит медицинская эргономика? Надо ли обучаться медицинскому персоналу эргономике?

Медицинская (клиническая) биомеханика является разделом биомеханики в медицине. Основные задачи биомеханики в медицине — изучение движения человека в норме (и при патологии с позиций теории управления механики) и оценка продуктивности способов воссоздания изучаемого движения (рис. 208).

Клиническая биомеханика должна, во-первых, выполнять процесс диагностики, во-вторых, выбирать метод лечения и, в-третьих, оценивать полученные результаты. Существуют основные разделы медицинской биомеханики, такие как биомеханика позвоночника, биоме-

Ключевые понятия:

- медицинская биомеханика
- медицинская эргономика



Рис. 208. Биомеханика

ханика движения, биомеханика кровообращения, биомеханика суставов, биомеханика дыхательной системы. Особый интерес представляет биомеханика позвоночника. Позвоночник выполняет ряд важнейших функций для организма человека, таких как защита спинного мозга, поддержка равновесия, амортизация при ходьбе, придание жесткости скелету. Суще-

ствуют биомеханические методы диагностики патологий позвоночника, такие как клинические тесты, устройства, измеряющие механические свойства, магнитно-резонансная томография, рентгенография, инвазивные методы, специальные программно-аппаратные комплексы. Но, в то же время, несмотря на их разнообразие, не существует “идеального” метода диагностики патологий позвоночника.

У каждого раздела существуют законы биомеханики, используемые для диагностики и лечения. Так, в биомеханике позвоночника есть три закона Фрайетта, относящиеся к грудному и поясничному отделам позвоночника. Первый закон гласит, что ротация и боковой наклон будут происходить в противоположных направлениях, если поясничный и грудной отделы позвоночника примут нейтральное положение. Второй закон Фрайетта говорит о том, что ротация и сайдбендинг (S-сайдбендинг относится к первому типу вертебральной соматической дисфункции) происходят в одном направлении, когда поясничный и грудной отделы позвоночника наклонены вперед или назад. В третьем законе Фрайетта речь идет о том, что при движении позвоночного сегмента в любой плоскости движения изменяется движение этого сегмента в других плоскостях движения.

Таким образом, медицинская биомеханика обязательно должна присутствовать в ежедневной клинической практике ортопедических отделений (рис. 209).



Рис. 209. Биомеханика тела медсестры и больного

Медицинская эргономика. Перемещение грузов является наиболее тяжелой и часто встречающейся работой в здравоохранении. При перемещении грузов и пациента эргономика учитывает 6 главных параметров: задача (выполняемая работа), груз (пациент), окружающая среда (включая оборудование), человек, выполняющий данную работу, организация труда, обучение. Данное перемещение

должно быть по существу, под наблюдением и должно быть оценено! Эргономично выполненная работа — это умение произвести оценку вышеупомянутых факторов, определить степень риска и снизить его таким образом, чтобы выполнение задачи стало людям по силам.

Приспособление к новым условиям идет в течение 7—10 дней. Если через 10 дней сохраняется дискомфорт, эта работа не эргономична (условия не эргономичны), т. е. нужно менять условия, работу. Цель любого передвижения и перемещения грузов вручную (эргономичного перемещения) — переместить пациента (объект) настолько удобно и эффективно, насколько это возможно с минимальными затруднениями и максимальной безопасностью.

Биомеханика в медицине изучает координацию усилий костно-мышечной, нервной системы и вестибулярного аппарата, направленных на поддержку равновесия и обеспечение наиболее физиологичного положения тела в покое и при движении: ходьбе, подъемах тяжестей, наклонах, в положении сидя, стоя, лежа. По законам биомеханики, эффективно лишь то движение, которое обеспечивает достижение поставленной цели с наибольшей выгодой для организма: наименьшим напряжением мышц, расходом энергии и нагрузкой на скелет. В равной мере сказанное относится и к неподвижному положению тела человека: лежа, сидя, стоя.

Медицинская сестра должна быть знакома с правилами биомеханики, уметь применять их в своей работе и обучить пациента пользоваться ими для наиболее эффективного удовлетворения потребностей “двигаться” (рис. 210). Чтобы уменьшить отрицательное влияние на пациента ограниченного режима двигательной активности, предотвратить повреждения органов и тканей при осуществлении различных перемещений тяжелобольного человека, а также снизить риск возможных травм у медсестры, которая осуществляет уход за таким пациентом, ей необходимо знать и соблюдать целый ряд правил биомеханики.

Статические и динамические нагрузки. Статическая работа в медицине: подъем, удержание позы, заданное положение. Она хуже переносится операционными медсестрами, хирургами, стоматологами. Динамическая работа в медицине — перемещение (рис. 211). Для того чтобы выработался эргономичный график, нужно работу уменьшить по мощности, но растянуть по времени, разбить на несколько этапов.

Таким образом, биомеханика — это комплексная наука, которая имеет отношение, в общем, ко всем проблемам биологии и, с одной стороны, помогает понять, как устро-



Рис. 210. Биодинамика медперсонала



Рис. 211. Биомеханика подъема в кровати под руки одной медсестрой

ны, как работают биологические системы, с другой стороны, помогает уже практическим врачам понять, как чинить, если какие-то механические нарушения, повреждения происходят в организме. Создание протезов суставов, например, — это задача, которой занимаются биомеханики во всем мире.

Это наука, которая, с одной стороны, занята изучением того, как работает живая природа, а с другой стороны, у которой есть совершенно практические приложения в современной медицине.



Проверьте свои знания:



1. Медицинская биомеханика — это...
2. Назовите разделы медицинской биомеханики.
3. Почему особый интерес вызывает биомеханика позвоночника?
4. Назовите законы Фрайетта, связанные с биомеханикой позвоночника.
5. Дайте характеристику медицинской эргономике.
6. Назовите биомеханические методы диагностики.



Кто из медицинских работников испытывает большие статические нагрузки? Почему?



Разработайте комплекс биомеханического состояния вашего организма в течение суток для сохранения своего здоровья.



Запомните правила биомеханики при поднятии тяжестей!

Правильная биомеханика при поднятии тяжестей заключается в следующем:

1. Перед поднятием тяжестей расположите стопы на расстоянии 30 см друг от друга, выдвинув одну стопу слегка вперед (такое положение обеспечивает хорошую опору, не позволяющую вам потерять равновесие и упасть).
2. Встаньте рядом с человеком, которого вам нужно будет поднимать, так, чтобы вам не нужно было наклоняться вперед.
3. Прижимайте поднимаемого человека к себе в процессе подъема.
4. Сгибайте только колени, поднимая человека, сохраняя туловище в вертикальном положении.
5. Поднимайте груз плавно, не делайте резких движений.
6. Чтобы повернуться, сначала поднимите груз, а затем, опираясь на ступни, плавно поворачивайтесь, не сгибая туловища, пока груз находится в руках.

Кроме выполнения перечисленных правил биомеханики, необходимо также избегать натуживаний на высоте вдоха. Натуживание на высоте вдоха вызывает нарушения сердечного ритма и коронарного кровотока – эффект Вальсальвы. Резкое изменение положения тела в пространстве может вызвать постуральный рефлекс у человека – появление головокружения, шума в ушах, сердцебиения, иногда потерю сознания.

Используя правильную биомеханику тела, медицинская сестра обеспечивает себе безопасность, а значит, сохраняет свое здоровье.

§ 117. МОДЕЛИРОВАНИЕ “ИЗУЧЕНИЕ БИОМЕХАНИКИ ДВИЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ”

Сегодня на уроке вы:

- изучите биомеханику движения наземных живых организмов;
- научитесь моделировать биомеханику движения наземных живых организмов.

Биомеханика — это наука, рассматривающая и анализирующая многогранные и разносторонние движения живых существ, как перемещение в системе взаимосвязанных двигательных сегментов, т. е. движение отдельных частей относительно друг друга.

По законам биомеханики, эффективно лишь то движение, которое обеспечивает достижения поставленной цели с наибольшей выгодой для организма: наименьшим напряжением мышц, расходом энергии и нагрузкой на скелет.

Перемещение всего организма с одного места на другое называется *локомоцией*.

1. *Изучение биомеханики движения наземных организмов :*

Для чего нужно движение?

С какой системой органов связаны движения многоклеточных организмов?

Перечислите способы движения наземных животных.

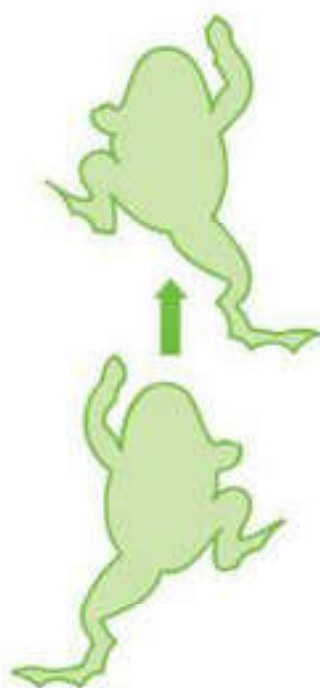
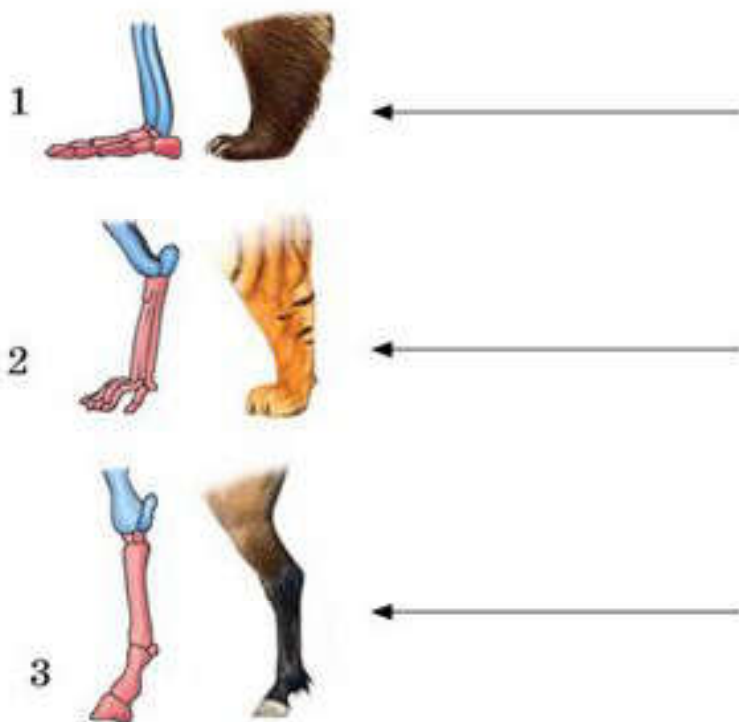
Ползающие животные имеют...

Животные, передвигающиеся прыжками, имеют...

Для успешного бега животным необходимы...



В зависимости от положения конечности во время бега животные делятся на...



2. Изучение локомоции лягушки :

Чем отличаются парные передние и задние конечности лягушки?

По схеме объясните медленное движение лягушки вперед по твердой поверхности...

Левая передняя лапка...

Одновременно правая задняя...

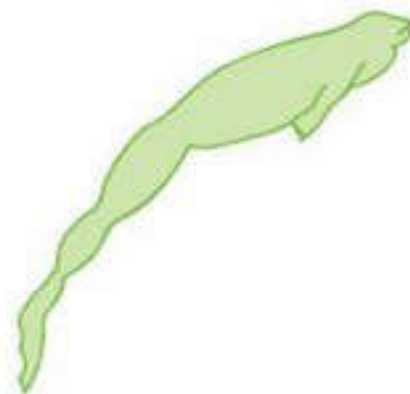
Обе они перемещают лягушку...

Затем правая передняя лапка...

Левая задняя лапка...

Весь этот цикл повторяется и обеспечивает животному движение...

Объясните отрыв лягушки от земли и прыжок (по схеме).



3. Изучение локомоции собаки.

А) ходьба

Меняется ли положение позвоночника при ходьбе?

Продвижение собаки вперед обеспечивается работой...

Вспомните, как передвигается собака. При ходьбе приподнята только одна лапа, а остальные три...

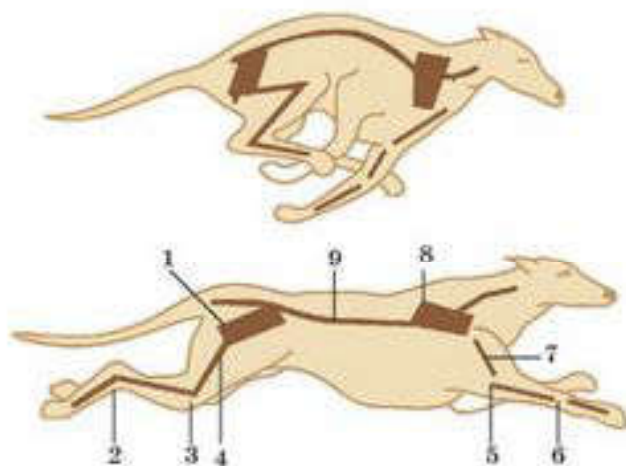
Если собака начинает движение вперед с левой передней ноги, то дальше ноги будут передвигаться в такой последовательности...

Б) бег

При беге одновременно перемещаются...

Меняется ли положение позвоночника, как?

Благодаря чему увеличивается скорость бега?



§118. ПРОВОДЯЩАЯ СИСТЕМА СЕРДЦА. МЕХАНИЗМ АВТОМАТИИ СЕРДЦА. СКОРОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ В СЕРДЦЕ. СОКРАТИМОСТЬ СЕРДЕЧНОЙ МЫШЦЫ

Сегодня на уроке вы:

- изучите проводящую систему сердца, механизм автоматии сердца, скорость проведения возбуждения в сердце, сократимость сердечной мышцы;
- научитесь объяснять механизм автоматии сердца с использованием электрокардиограммы.

Знаете ли вы?

- Какое строение имеет сердце? Что такое автоматия сердечной деятельности? Где возникают автономно нервные импульсы? Как эти импульсы передаются на другие отделы сердца?

Автоматия — это способность сердца сокращаться под влиянием импульсов, возникающих в нем самом. Обнаружено, что в клетках атриального миокарда могут генерироваться нервные импульсы. Сердечной мышце свойственны возбудимость, проводимость, сократимость и автоматия. Возбудимость — это способность миокарда возбуждаться при действии раздражителя, проводимость — проводить возбуждение, сократимость —

Ключевые понятия:

- потенциал действия
- синоатриальный узел
- атриовентриальный узел
- типичные и атипичные кардиомиоциты
- пейсмекер
- автоматик
- атриовентрикулярная задержка

укорачиваться при возбуждении. Особое свойство — автоматия. Это — способность сердца к самопроизвольным сокращениям. Еще Аристотель писал, что в природе сердца имеется способность биться с самого начала жизни и до ее конца, не останавливаясь. В прошлом веке существовало 3 основных теории автоматии сердца. Прохаска и Мюллер выдвинули нейрогенную теорию, считая причиной ритмических сокращений сердца нервные импульсы. Гаскелл и Энгельман предложили многогенную теорию, согласно которой импульсы возбуждения возникают в самой сердечной мышце. Существовала теория гормона сердца, который вырабатывается в нем и инициирует его сокращения. Автоматию сердца можно наблюдать на изолированном сердце по Штраубу. В 1902 г. применив такую методику, томский профессор А. А. Кулябко впервые оживил человеческое сердце.

В конце XIX в. в различных участках миокарда предсердий и желудочков были обнаружены скопления своеобразных по строению мышечных клеток, которые называли атипическими. Эти клетки больше в диаметре, чем сократительные, в них меньше сократительных элементов и больше гранул гликогена. В последние годы установлено, что скопления образованы Р-клетками (клетками Пуркинье) или пейсмекерными (ритмоводящими). Кроме того, в них имеются также переходные клетки. Они занимают промежуточное положение между сократительными и пейсмекерными кардиомиоцитами и служат для передачи возбуждения. Такие 2 типа клеток образуют проводящую систему сердца. В ней выделяют следующие узлы и пути:

1. Синоатриальный узел (Книс-Флека). Он расположен в устье полых вен, т. е. венозных синусах.

2. Межузловые и межпредсердные проводящие пути Бахмана, Венкенбаха и Тореля. Проходят по миокарду предсердий и межпредсердной перегородке.

3. Атриовентрикулярный узел (Ашофф-Тавара). Находится в нижней части межпредсердной перегородки под эндокардом правого предсердия.

4. Атриовентрикулярный пучок или пучок Гиса. Идет от атриовентрикулярного узла по верхней части межжелудочковой перегородки. Затем делится на две ножки — правую и левую. Они образуют ветви в миокарде желудочков.

5. Волокна Пуркинье. Это концевые разветвления ветвей ножек пучка Гиса. Образуют контакты с клетками сократительного миокарда желудочков (рис. 212).

Синоатриальный узел образован преимущественно Р-клетками. Остальные отделы проводящей системы заполнены переходными кардиомиоцитами. Однако небольшое количество клеток-пейсмекеров имеется и в них, а также в сократительном миокарде предсердий и желудочков. Сократительные кардиомиоциты соединены с волокнами Пуркинье, а также между собой нексусами, т. е. межклеточными контактами с

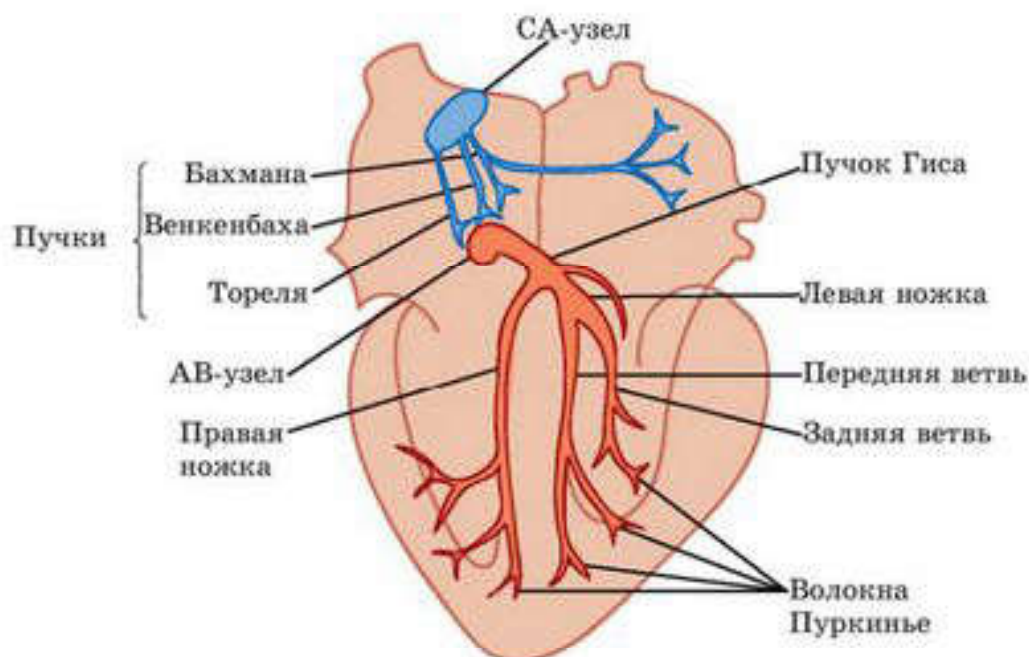


Рис. 212. Сердце

низким электрическим сопротивлением. Благодаря этому и примерно одинаковой возбудимости кардиомиоцитов сердечная мышца реагирует на раздражение как единое целое.

Роль различных отделов проводящей системы в автоматии сердца впервые была установлена Станниусом и Гаскеллом. Станниус накладывал перевязку на различные участки сердца. Первая перевязка накладывалась между венозным синусом, где расположен синоатриальный узел, и правым предсердием. После этого синус продолжал сокращаться в обычном ритме, т. е. с частотой 60—80 сокращений в минуту, а предсердия и желудочки останавливались. Вторая перевязка накладывалась на границе предсердий и желудочков. Это вызывало возникновение сокращений желудочков с частотой примерно в 2 раза меньшей, чем частота автоматии синусного узла, т. е. 30—40 в минуту. Желудочки начинают сокращаться из-за механического раздражения клеток атриовентрикулярного узла. Третья перевязка накладывалась на середину желудочков. После этого их верхняя часть сокращается в атриовентрикулярном ритме, а нижняя — с частотой в 4 раза меньше синусного ритма, т. е. 15—20 в минуту. Гаскелл вызывал местное охлаждение узлов проводящей системы и установил, что ведущим водителем ритма сердца является синоатриальный. На основании опытов Станниуса и Гаскелла был сформулирован принцип убывающего градиента автоматии. Он гласит, что чем дальше центр автоматии сердца расположен от его венозного конца и ближе к артериальному, тем меньше его способность к автоматии. В нормальных условиях синоатриальный узел подавляет автоматию нижележащих, т. к. часто та его спонтанной активности выше. Поэтому синоатриаль-

ный узел называют центром автоматии I-го порядка, атриовентрикулярный — II-го, а пучок Гиса и волокна Пуркинье — III-го.

Нормальная последовательность сокращений отделов сердца обусловлена особенностями проведения возбуждения по его проводящей системе. Возбуждение начинается в ведущем водителе ритма — синоатриальном узле. От него, по межпредсердным ветвям пучка Бахмана, возбуждение со скоростью 0,9—1,0 м/сек распространяется по миокарду предсердий. Начинается их систола (сокращение мышцы). Одновременно от синусного узла возбуждение по межузловым путям Венкенбаха и Тореля достигает атриовентрикулярного узла. В нем скорость проведения резко снижается до 0,02—0,05 м/сек. Возникает атриовентрикулярная задержка, т. е. проведение импульсов к желудочкам задерживается на 0,02—0,04 сек. Благодаря этой задержке, кровь во время систолы предсердий поступает в еще не начавшие сокращаться желудочки. От атриовентрикулярного узла по пучку Гиса, его ножкам и их ветвям возбуждение идет со скоростью 2—4 м/сек. Благодаря такой высокой скорости оно одновременно охватывает межжелудочковую перегородку и миокард обоих желудочков. Скорость проведения возбуждения по миокарду желудочков — 0,8—0,9 м/сек.



Проверьте свои знания:



1. Чем отличаются клетки сердечной мышцы от скелетных?
2. В чем заключается функция типичных и атипичных кардиомиоцитов?
3. Что входит в состав проводящей системы сердца?
4. Что такое *автоматик*?
5. Что такое АВ-задержка?
6. Каково ее физиологическое значение?



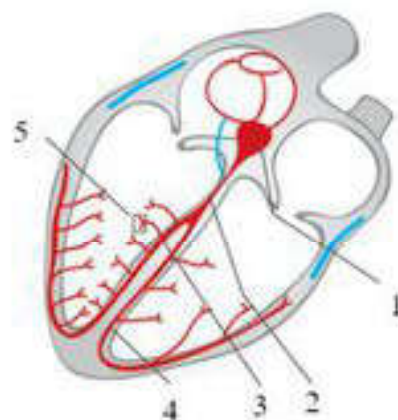
Где начинается генерация потенциала действия?



Назовите части проводящей системы сердца, обозначенные цифрами.



1. Назовите основную структурно-функциональную особенность сердечной мышцы.
 2. Какому закону подчиняется сокращение сердечной мышцы?
 3. Какие клетки сердечной мышцы способны самопроизвольно генерировать ПД?
 4. Перечислите основные функции атипичных кардиомиоцитов.
 5. Назовите основные функции проводящей системы сердца.
 6. Дайте определение автоматии сердца.
 7. Назовите основные узлы автоматии сердца.
 8. В ритме какого узла автоматии сокращается сердце здорового человека?
- Подготовьте сообщение и электронную презентацию по теме параграфа.



§ 119. ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЯ, ЕЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Сегодня на уроке вы:

- изучите электрокардиографию, ее диагностическое значение;
- научитесь объяснять механизм автоматии сердца с использованием электрокардиограммы.

Знаете ли вы?

- Что такое электрокардиография? Для чего используется ЭКГ? Какие заболевания можно определить с помощью ЭКГ? Приходилось ли вам пользоваться данным методом диагностики? Что было выявлено при таком методе исследования?

Электрокардиограмма (ЭКГ) — это запись электрической активности сердца. ЭКГ оценивает ритм и проводимость сердца, позволяет оценить кровоснабжение сердечной мышцы в состоянии покоя, а также выявить увеличение камер сердца (предсердий и желудочков) (рис. 213).

По результатам ЭКГ можно определить такие заболевания, как аритмия, инфаркт, сердечная недостаточность, пороки сердца, а также оценить нарушение работы легких, так как при различных болезнях легких нарушается снабжение сердца и остальных органов кислородом.

Метод основан на регистрации электрических импульсов, генерируемых сердцем. Запись идет в виде кривых. Регистрируют кардиограмму с помощью электродов, которые накладываются на грудную клетку и подключаются к специальному аппарату. Исследование не доставляет неприятных ощущений, занимает около 10 минут, после чего готовые пленки описываются врачом.

Ключевые понятия:

- электрокардиограмма
- значение ее для диагностики



Рис. 213. Электрокардиография

Возникшее возбуждение распространяется по проводящей системе и миокарду и сопровождается возникновением на поверхности клеток отрицательного потенциала. Происходит синхронный разряд большого числа возбужденных единиц. Сердце становится мощным генератором биологического электричества. Суммарный потенциал возбужденных волокон настолько велик, что его можно зарегистрировать далеко за пределами сердца. Приложив электроды к определенным точкам тела, можно записать кривую, отражающую динамику разности потенциалов в течение сердечного цикла. Эту кривую, имеющую сложный характер, называют *электрокардиограммой* (ЭКГ), а метод исследования — *электрокардиографией*. ЭКГ получила широкое применение в медицине как диагностический метод, позволяющий установить характер ряда нарушений сердечной деятельности. В различных областях сердца во время сердечного цикла процессы возбуждения возникают не одновременно. Условную линию, соединяющую две точки с наибольшей разностью потенциалов, называют электрической осью сердца. Если возбуждение распространяется нормально, то электрическая ось сердца совпадает с анатомической осью. В определенные периоды электрическая ось характеризуется разной величиной и направленностью, т. е. обладает свойством векторной величины (вектор-стрелка). Одновременная регистрация величины разности потенциалов (ЭКГ) и характера электрической оси сердца (вектора) называется *векторкардиограммой* (ВКГ).

Электрокардиография является одним из ведущих методов инструментального исследования сердечно-сосудистой системы, который остается наиболее распространенным и доступным для широкого круга практических врачей. Этот метод не теряет своего значения и постоянно совершенствуется.

Переоценка возможностей этого метода может привести к серьезным диагностическим ошибкам. Вместе с тем, четкое понимание причин изменений ЭКГ может оказать неоценимую услугу в распознавании болезней сердца. Как известно, ЭКГ представляет собой графическую запись биопотенциалов миокарда. В основе возникновения электрических явлений в сердечной мышце лежит движение ионов через клеточную мембрану. Основное значение при этом имеют катионы натрия, калия и кальция, анионы хлора. На современном этапе развития медицины диагностика и лечение атеросклероза невозможны без прижизненного изучения качественных и количественных характеристик анатомических и морфологических особенностей сосудистого поражения.

Такое исследование необходимо, во-первых, с целью выявления атеросклеротического стенозирования артерий, определения его выраженности, выбора адекватной лечебной тактики и, во-вторых, для динамического контроля развития заболевания и оценки эффективности антиатеросклеротического и хирургического ле-

чения больных атеросклерозом. Известно, что в основе прогрессирования атеросклероза лежит ряд хронических и острых процессов. К первым относится постепенное увеличение в размерах липидных бляшек, появление новых бляшек в ранее не измененных сосудах.

Вторые связаны с внутрисосудистым тромбообразованием, которое также участвует в формировании атеросклеротических бляшек и может привести к острому сужению сосудов. С другой стороны, исследованиями последних лет убедительно доказано явление уменьшения толщины бляшек, а следовательно, и степени сужения просвета артерии. Подобная регрессия атеросклероза может происходить как спонтанно, так и под влиянием лечения. В связи с этим получение визуальной информации о строении, а в оптимальном варианте — и о функции сосудов является чрезвычайно важным и, прежде всего, для практических целей.



Проверьте свои знания:



1. Электрокардиограмма — это...
2. Для чего проводятся кардиологические исследования?
3. В чем заключаются основы метода кардиологических исследований?
4. В виде чего регистрируются электрические импульсы сердца?



Какие болезни можно диагностировать с помощью электрокардиографии?



Посетите своего врача и сделайте кардиограмму для убедительности, что ваше сердце здорово.



1. Подготовьте сообщение и электронную презентацию по теме параграфа.
2. Используя дополнительную литературу, подготовьтесь к моделированию по теме "Исследование электрических процессов, протекающих в сердце".



§ 120. МОДЕЛИРОВАНИЕ "ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В СЕРДЦЕ"

Сегодня на уроке вы:

- изучите исследование электрических процессов, протекающих в сердце;
- научитесь исследовать электрические процессы, протекающие в сердце.

Электрические процессы в сердце отражает электрокардиограмма: возбуждение (*деполяризация*) — приводит к сокращению мышечной клетки, восстановление (*реполяризация*) — к расслаблению.

Исследование электрических процессов, протекающих в сердце, — это знание, из каких элементов состоит ЭКГ и что означают эти элементы (рис. 214).

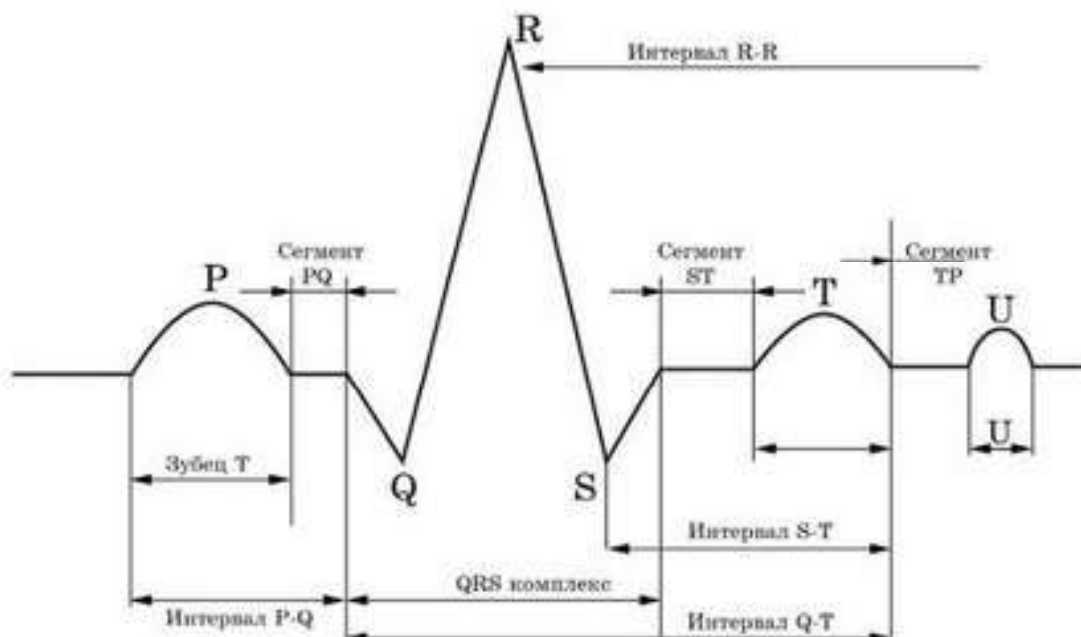
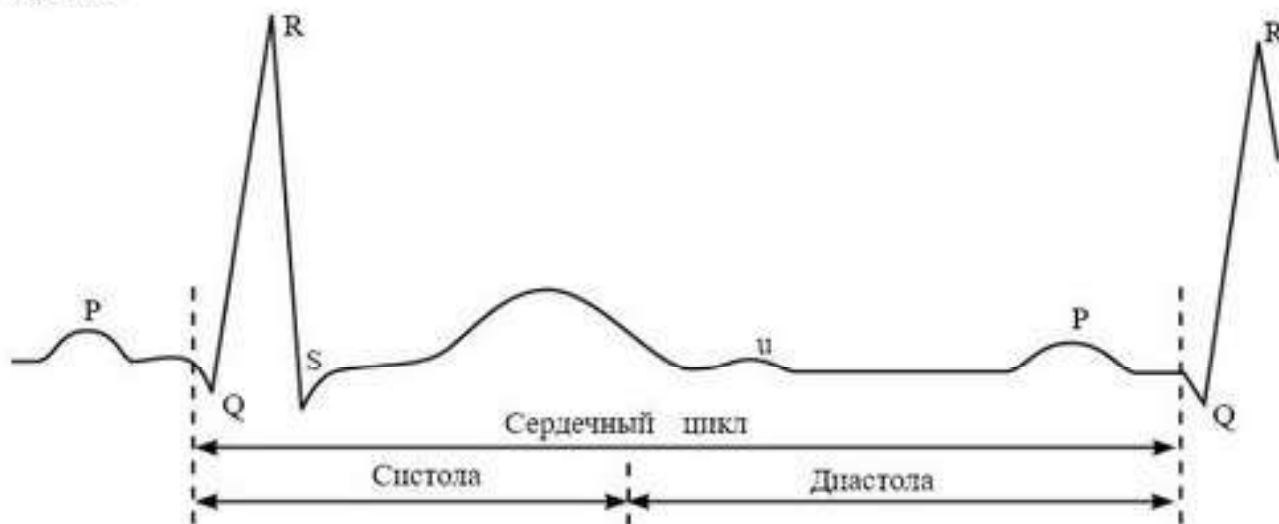


Рис. 214. Расшифровка ЭКГ

1. Что такое *зубцы* ?
 - зубец P означает...
 - зубцы QRS характеризуют...
 - зубец T означает...
 - какой зубец самый высокий?
2. Что такое *сегмент* ?
 - сегмент PQ означает...
 - сегмент TP соответствует...
 - сегмент ST означает...
3. Что такое *интервал* ?
 - интервал PQ отражает...
 - интервал QT показывает...
4. Комплекс QRS отражает...
5. В каком режиме работает сердце?
6. Где возникают импульсы, вызывающие ритмические сокращения сердца?





ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБОБЩЕНИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИИ ЗНАНИЙ ПО РАЗДЕЛУ

1. Что называют биомеханикой?
2. С чем связана инженерная биомеханика?
3. Что характеризует медицинскую биомеханику?
4. Каково применение эргономической биомеханики?
5. Назовите принципы работы воздушных мышц.
6. Как устроены воздушные мышцы?
7. Как используется нитиноловая проволока в биомеханике?
8. Каковы задачи биомеханики в медицине?
9. Какие вопросы решает клиническая биомеханика?
10. Какие проблемы в медицине решает эргономика?
11. Что изучает биомеханика в медицине?
12. Как должен действовать медицинский работник, обеспечивая передвижение лежачего больного?
13. Охарактеризуйте проводящую систему сердца.
14. Какова скорость проведения возбуждения в сердце?
15. Как осуществляется механизм автоматии сердца?
16. Электрокардиограмма – это...
17. Какие заболевания можно определить с помощью ЭКГ?
18. Какую кривую называют электрокардиограммой?

13

БИОТЕХНОЛОГИЯ

§121. ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ СТОРОНЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ, СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ, МЕДИЦИНЕ, БЫТУ

Сегодня на уроке вы:

- изучите положительные и отрицательные стороны использования микроорганизмов в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, быту;
- научитесь обсуждать преимущества и недостатки живых организмов, используемых в биотехнологии.

Знаете ли вы?

- Что вы знаете о микроорганизмах? Какие из них наши друзья, а какие — враги? Как может человек использовать микроорганизмы в промышленности? Как используются микроорганизмы в сельском хозяйстве? Какова их роль в медицине? Использует ли человек микроорганизмы в быту?

Ключевые понятия:

- микроорганизмы
- ферментативная деятельность
- антибиотики
- витамины
- биологический контроль
- биоповреждения
- инфекция

Мир микроорганизмов в природе весьма разнообразен. Значительное их число представлено бактериями, в том числе цианобактериями (синезелеными водорослями). Многочисленную группу микроорганизмов составляют грибы, одноклеточные животные, вирусы, одноклеточные водоросли. Широкое распространение микроорганизмов свидетельствует об их огромной роли в природе. При их участии происходит разложение различных органических веществ в почвах и водоемах, они обуславливают круговорот веществ и энергии в природе; от их деятельности зависят плодородие почв, формирование нефти, каменного угля, торфа, известняка.

Большинство микроорганизмов имеют высокий уровень ферментативной деятельности, потому широко используются, в первую очередь, в промышленном и сельскохозяйственном производстве. Это молочнокислые и уксуснокислые бактерии, без которых невозможно изготовление многих продуктов питания, — сыров, йогуртов, кумыс, кефира, масла. Сейчас созданы уникальные штаммы бактерий и гриба, используемые

в производстве кисломолочных продуктов высочайшего качества. Они способны не терять своих качеств на протяжении длительного времени, подавляя жизнедеятельность гнилостных микроорганизмов (рис. 215).

Микроорганизмы служат продуцентами природных веществ, обладающих антибиотическими свойствами, т. е. способных либо подавлять рост, либо убивать других микробов. Антибиотики находят применение в медицине, ветеринарии, сельском хозяйстве, промышленности. Обнаружена способность почвенных микроорганизмов образовывать биологически активные вещества — *витамины, аминокислоты, ростовые вещества, ферменты*. Особенно велико значение микроорганизмов в растениеводстве и животноводстве. Это — обогащение почвы азотом, борьба с вредителями сельскохозяйственных растений при помощи микробных препаратов, правильное приготовление и хранение кормов, получение кормового белка.

Во второй половине XX в. в мировой экономике стал остро ощущаться дефицит энергии, пищи и сырья для промышленности. Возникла угроза загрязнения окружающей среды. Внимание было обращено на микроорганизмы, как мощную и многообразную каталитическую систему, способную трансформировать природные органические вещества растительного происхождения в любые нужные человеку формы в технически несложных сооружениях, в управляемых, независимо от климата, условиях, при сравнительно небольших затратах энергии и труда. Это биоконверсия — превращение компонентов растительной массы микробиологическим или ферментативным путем в различные вещества и продукты в регулируемых условиях. С другой стороны, это ключ к созданию безотходных технологий, полное использование растительного сырья.

Использование микроорганизмов, появление возможности проводить прямые манипуляции с индивидуальными генами стало основой появления нового направления селекционной работы — генной инженерии. Одно из достижений этого метода — перенос генов, кодирую-



Рис. 215. Роль микроорганизмов

ших нужные человеку вещества, в клетки бактерий. Например, сейчас возможно промышленное производство инсулина, интерферона. Генная инженерия — перспективный путь создания и производства вакцин.

Применение бактерий для переработки сельскохозяйственных отходов в биогаз или этанол дает возможность создания принципиально новых возобновляемых энергетических ресурсов. Бактерии используют для извлечения металлов, увеличения нефтеотдачи пластов.

С помощью некоторых бактерий можно осуществлять биологический контроль. Дело в том, что определенные бактерии заражают и вызывают гибель гусениц некоторых бабочек. На другие организмы они не действуют. А это значит, что в нашем распоряжении имеются средства для борьбы со многими вредителями растений. Препараты таких бактерий используют для опыления посевов.

На протяжении миллионов лет макро- и микроорганизмы взаимно приспособлялись и стали необходимыми друг другу. Микробы — нормальные обитатели организма человека или животного, играют значительную роль в их жизни. Так, представители нормальной микрофлоры кишечника завершают переваривание питательных веществ, способствуют более эффективному их использованию микроорганизмом. Многие микробы, обитающие в кишечнике, являются антагонистами гнилостных и болезнетворных бактерий, а также вырабатывают витамины, которые используются организмом человека или животного.

Польза, которую приносят микроорганизмы, значительно больше, чем вред, который они причиняют.

Бактерии могут быть вредны для человека в двух случаях. Во-первых, если не принимать специальных мер, бактерии портят пищевые продукты. Через испорченные продукты, в которых содержатся токсичные продукты обмена бактерий, идет заражение организмов. Во-вторых, бактерии и вирусы могут быть возбудителями инфекционных болезней. В этом заключается их отрицательная роль. *Патогенные микроорганизмы* могут поражать растения и животных. Учеными и сотрудниками санитарно-эпидемиологической службы измеряются количественные показатели микробов, что помогает выявить степень свежести и безопасности продукта.

Нередко бактерии становятся причиной разрушения подземных частей зданий, трубопроводов, металлических конструкций. Например, в целях более полной отдачи нефтеносных пластов туда закачивают воду из соседнего болотца, в результате чего в нефти развивается обильная микрофлора, давшая позднее при производстве топлива слизь и снизившая его кондицию. Дорогостоящие оптические приборы теряют свою эксплуатационную ценность при попадании на поверхность линз мицелия разросшихся по соседству грибов. Покрывая днища морских судов, водоросли на 20—30% снижают скорость движения, одновременно увеличивая расход топлива на 10%. Авиационное топливо, смазочно-охлаждающие жидкости под действием некоторых

бактерий образуют стойкие эмульсии, повышают кислотность, меняют запах и цвет, загрязняются слизью, что может вызвать у человека дерматит, легочные заболевания и т. д. Различные виды бактерий, поселяясь на нефтепроводах, вызывают разрушение их стенок и, как следствие, утечку и разлив нефти в окружающее пространство. Применение микроорганизмов в этих случаях показывает обратную сторону их деятельности. Поэтому при использовании микроорганизмов должна работать комплексная стратегия защиты от биоповреждений.

Потенциал микроорганизмов в практическом отношении неисчерпаем. Деятельность их обширна и разнообразна. Каждый вид микробов в зависимости от конкретной ситуации и от взаимосвязей может биологически проявить себя по-разному, и нередко — диаметрально противоположно. Углубление знаний о жизнедеятельности микроорганизмов, понимание их экологических требований открывает новые направления их эффективного использования.



Проверьте свои знания:



1. Какие организмы относятся к микроорганизмам?
2. Какова роль микроорганизмов в природе?
3. Как используются микроорганизмы в промышленном производстве?
4. Какова полезность микроорганизмов в сельском хозяйстве?
5. Как сказывается развитие микробиологии на успехах медицины?



В чем заключается отрицательная сторона использования микробов?



1. Выберите правильные утверждения о микроорганизмах:
 - а) все микроорганизмы относятся к прокариотам;
 - б) микроорганизмы являются клеточными организмами;
 - в) все микроорганизмы являются патогенными;
 - г) при неблагоприятных для существования условиях микробы погибают;
 - д) при снижении оптимальных условий существования бактерии образуют споры;
 - е) микроорганизмы размножаются спорообразованием;
 - ж) деятельность бродильных бактерий — это основа для силосования грубых кормов;
 - з) оспа, грипп, гепатит — болезни бактериального происхождения;
 - и) туберкулез, холера, ботулизм — вирусные заболевания;
 - к) микроорганизмы по способу питания являются и гетеротрофами, и автотрофами;
 - л) микроорганизмы размножаются простым делением надвое;
 - м) к бактериальным заболеваниям относятся: холера, сальмонеллез, туберкулез.



Перечислите методы борьбы с бактериями для сохранности продуктов питания.



Допишите в тетрадь определения следующих терминов:

- Эпидемия — ...
 Дезинфекция — ...
 Стерилизация — ...
 Вакцинация — ...



Проведите дискуссию на тему: "Положительные и отрицательные стороны использования микроорганизмов в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, быту".

§ 122. ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРАЗНОЙ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ (ПЦР)

Сегодня на уроке вы:

- изучите применение полимеразной цепной реакции (ПЦР);
- научитесь описывать значение полимеразной цепной реакции в таксономии, медицине и криминалистике.

Знаете ли вы?

- Где применяется полимеразная цепная реакция?

Ключевые понятия:

- полимеразная цепная реакция
- амплификация
- термофильная ДНК-полимераза
- циклизатор

Метод полимеразной цепной реакции (ПЦР), предложенный в 1983 г. Карри Муллисом, явился эпохальным открытием XX в. в области молекулярной биологии. Он позволяет подвергать специфичной амплификации (увеличение числа копий) в условиях *in vitro* (в пробирке) отдельного участка ДНК длиной от нескольких десятков до нескольких сотен пар нуклеотидов,

используя в качестве матрицы любые образцы ДНК. Если раньше можно было получить только минимальные количества специфического гена, то теперь с использованием ПЦР даже единичная копия может быть амплифицирована до миллиона копий за несколько часов. Методика ПЦР стала необходимой для многих обычных процедур, таких как клонирование специфических фрагментов ДНК, выявление и идентификация генов в диагностике и в судебной медицине, а также в процессе изучения характера экспрессии генов. В последнее время метод ПЦР позволил проводить исследования в новых областях, таких как контроль аутентичности пищевых продуктов, анализ наличия генетически модифицированной ДНК или микробиологического заражения.

Необходимое условие для проведения ПЦР — знание нуклеотидной последовательности амплифицируемой области. В качестве матрицы используют любой тип ДНК — геномную ДНК человека, различных видов прокариотов и эукариотов, ДНК, выделенную из культур клеток, “библиотек” генов и других источников. Метод не требует больших количеств исследуемой ДНК и т. д. — достаточно даже одной молекулы, содержащейся в одном волосе на голове, одной капли крови.

Успех в разработке метода в значительной степени обусловлен использованием в качестве фермента термофильной ДНК-полимеразы, выделенной из бактерий, живущих в горячих источниках, и потому

устойчивой к действию высоких температур. Этот фермент, открытый в 1955 г. А. Корнбергом, способен удлинять цепь ДНК дополнительным нуклеотидом. Преимуществом данного фермента является способность работать стабильно при повышенных температурах (оптимум 72—80° С), в том числе при достаточно высокой температуре для денатурации ДНК.

Реакционная смесь для получения интересующей нас ДНК содержит исследуемую ДНК, субстраты реакции — 2 праймера (короткие фрагменты нуклеиновой кислоты), термостабильную Taq -полимеразу, 4 дезоксинуклеозидтрифосфата (дНТФ), используемые в качестве строительных блоков, и буфер, содержащий ионы магния.

Один цикл полимеризации состоит из трех этапов (рис. 216):

— **плавление**: на этой стадии реакционную смесь нагревают до температуры 90—97°С. Исследуемая двуцепочная ДНК денатурирует и переходит в однонитевую форму;

— **гибридизация или отжиг ДНК с праймерами**. В результате снижения температуры до 50—60°С происходит комплементарное связывание праймеров с цепями матричной ДНК и образование двухцепочного участка на каждой из нитей ДНК.

— **элонгация** — удлинение нитей ДНК, комплементарных матричной ДНК. Катализирует термофильная полимераза в направлении от 5'- к 3'- концу (рис. 217).

Затем снова наступает этап плавления, когда за счет повышения температуры синтез ДНК прекращается, и двунитовой участок между



Рис. 216. Метод полимеразной цепной реакции (ПЦР)

матричными и вновь синтезированными молекулами ДНК денатурирует. Во втором и последующих циклах праймеры гибридизируются с исходной матричной ДНК и с вновь синтезированными молекулами ДНК, количество которых нарастает в геометрической прогрессии. В последнем случае синтез ДНК заканчивается не из-за изменения температурного режима, а по достижении ДНК-полимеразой границы амплифицированного участка, что определяет строго фиксированный размер продукта с точностью до одного нуклеотида.

Описанную процедуру амплификации ДНК проводят в автоматическом режиме в приборе — циклизаторе или термоциклере, амплификаторе ДНК. Такой прибор позволяет задавать нужное количество циклов и выбирать оптимальные временные и температурные параметры. За 25—30 циклов число синтезированных копий ДНК достигает нескольких миллионов.

С помощью ПЦР можно получить достаточное количество копий участков ДНК, в которых предполагается присутствие мутаций, можно проводить ДНК-диагностику инфицированности пациентов вирусными, бактериальными и грибковыми заболеваниями. Наибольшее развитие метод ПЦР получил благодаря Международной программе “Геном человека”. В ходе работы были картированы 923 гена, вызывающих развитие моногенных заболеваний. Были созданы современные лазерные технологии секвенирования (расшифровка нуклеотидных последовательностей ДНК). Это, в свою очередь, способствовало значительному росту информационных баз данных, содержащих последовательности ДНК различных биологических объектов.

В настоящее время предложены различные модификации ПЦР, показана возможность создания тест-систем для обнаружения микроорганизмов, выявления точечных мутаций. Ожидается, что в ближайшие годы будут изучены все гены, ответственные за развитие патологических процессов у человека. Это позволит вывести диагностику и лечение многих болезней на качественно новый уровень.



Проверьте свои знания:



1. Дайте определение понятию полимеразная цепная реакция.
2. В чем преимущество метода ПЦР?
3. Что является необходимым условием для проведения ПЦР?
4. Из чего составляется реакционная смесь для снятия копий нужного участка ДНК?
5. Почему в качестве фермента цепной реакции используют бактериальную термофильную ДНК-полимеразу?
6. Охарактеризуйте этапы одного цикла ПЦР.



В каких областях деятельности человека применяют ПЦР?



Дополните приведенные определения соответствующими терминами:

- расшифровка нуклеотидных последовательностей ДНК... — ...
- метод амплификации *in vitro* заданных фрагментов ДНК с полностью или частично известной последовательностью — ...
- короткая олигонуклеотидная затравка для присоединения к цепи ДНК дополнительного нуклеотида — ...
- количественное увеличение фрагментов ДНК с заданными свойствами...



Подготовьте презентацию и сообщение по теме урока.

§ 123. ЗНАЧЕНИЕ ПОЛИМЕРАЗНОЙ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ В КРИМИНАЛИСТИКЕ, ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ ОТЦОВСТВА, МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ, ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНЕ

Сегодня на уроке вы:

- изучите значение полимеразной цепной реакции в криминалистике, при установлении отцовства, медицинской диагностике, персонализированной медицине;
- научитесь описывать значение полимеразной цепной реакции в таксономии, медицине и криминалистике.

Знаете ли вы?

- При использовании каких образцов генетического материала можно определить преступника с помощью ПЦР?

Ключевые понятия:

- генетический отпечаток пальцев
- геномная дактилоскопия
- ДНК-типирование
- ПЦР-диагностика
- персонализированная медицина

Полимеразная цепная реакция (ПЦР) — экспериментальный метод молекулярной биологии, который позволяет производить множество манипуляций с нуклеиновыми кислотами.

Полимеразная цепная реакция широко используется во многих областях человеческой деятельности для проведения анализов по биологическому материалу (пробе), например, для установления отцовства, и в научных экспериментах.

В криминалистике ПЦР используют для сравнения так называемых генетических отпечатков пальцев. Необходим образец генетического материала с места преступления: кровь, слюна, волосы — его сравнивают с генетическим материалом подозреваемого. Достаточно совсем малого количества ДНК, даже одной копии. ДНК расщепляют на фрагменты, затем амплифицируют с помощью ПЦР. Фрагменты разделяют с помощью электр офореза ДНК. Полученную картину расположения полос

ДНК и называют *генетическим отпечатком пальцев* (рис. 218). Внедрение ДНК-типирования в практику судебной медицины получило позитивный отклик, так как с его помощью была доказана причастность большого количества заключенных к преступлениям, в которых они обвинялись. ДНК-типирование также обеспечило реабилитацию некоторых несправедливо обвиненных людей. Повсеместное внедрение ДНК-типирования в судебную практику дает возможность создать базу данных генетического материала. Это позволит в будущем за короткий промежуток времени сравнивать генетический материал с места преступления и данные об известных нарушителях.

ДНК-типирование, или геномная дактилоскопия, — это система идентификации, в основе которой лежит выявление генетических различий между организмами. Каждое живое существо генетически уникально. Методики ДНК-типирования предназначены для определения малейших генетических различий в последовательности нуклеотидов ДНК или сравниваются образцы ДНК двух индивидуумов с целью выявления их схожести при установлении отцовства.

ПЦР-диагностика в последнее время считается самой перспективной технологией в постановке диагнозов, касающихся инфекционных и вирусных заболеваний. Диагностика методом ПЦР существует более 30 лет и уже зарекомендовала себя как один из наиболее точных способов выявления инфекции, к тому же науке известны последовательности ДНК многих болезнетворных микроорганизмов. Можно создать два праймера ПЦР, соответствующих последовательности исследуемого патогена и расположенных на известном расстоянии на ДНК. Если затем выполнить ПЦР с использованием этих праймеров и с помощью гель-электрофореза провести анализ полученных продуктов, то в случае принадлежности исследуемого образца тому же вирусу мы получим фрагмент, длина которого соответствует взятой для сравнения последовательности ДНК. Высокая специфичность ПЦР обусловлена тем, что в исследуемом материале появляется характерный только для данного вида возбудителя фрагмент ДНК.

Выявляя единичные клетки бактерий или частиц вирусов, ПЦР-диагностика обнаруживает наличие возбудителей инфекционных заболеваний, когда другими методами — иммунологическими, микроскопическими, бактериологическими — это сделать невозможно.



Рис. 218. Результаты электрофореза ДНК-фрагментов, амплифицированных с помощью ПЦР. (1) Отец. (2) Ребенок. (3) Мать. Ребенок унаследовал некоторые особенности генетического отпечатка обоих родителей, что дало новый, уникальный отпечаток

В клинической практике метод ПЦР часто используется для выявления вирусных гепатитов, кондилом, туберкулеза, СПИДа, клещевого энцефалита, краснухи, холеры, хеликобактериоза, дифтерии. С помощью ПЦР можно выявить наличие половых инфекций.

Существует множество микроорганизмов, способных поражать плод еще в утробе матери. ПЦР-диагностика позволяет эффективно выявлять наличие инфекций как на внутриутробном этапе, так и у новорожденных.

Иногда лекарства оказываются токсичными или аллергенными для некоторых пациентов. Причины этого — отчасти в индивидуальных различиях в восприимчивости и метаболизме лекарств. Эти различия детерминируются на генетическом уровне. Например, у одного пациента определенный цитохром (белок, отвечающий за метаболизм чужеродных веществ) может быть более активен, у другого — менее. Для того чтобы определить, какой разновидностью цитохрома обладает данный пациент, предложено проводить ПЦР-анализ перед применением лекарства. Это называется *персонализированной медициной*, а анализ — *предварительным генотипированием*.

Преимуществами ПЦР-диагностики перед другими способами анализа являются прямое определение возбудителя инфекции, высокая специфичность метода, высокая чувствительность, универсальность, быстрая скорость получения результатов, диагностика скрытых инфекций.



Проверьте свои знания:



1. Каково значение ПЦР в криминалистике?
2. Какое значение имеет ПЦР в судебной практике?
3. Как с помощью ПЦР устанавливается отцовство?
4. В каких областях клинической медицины применяется ПЦР и какое это имеет значение?
5. Что такое персонализированная медицина?



В чем заключаются преимущества ПЦР перед другими методами анализа?



Существуют ли какие-либо ограничения или недостатки метода ПЦР?



Подготовьте сообщение или электронную презентацию на тему "Применение ПЦР в медицинской диагностике".

§ 124. ЗНАЧЕНИЕ ПОЛИМЕРАЗНОЙ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ В КЛОНИРОВАНИИ ГЕНОВ, СЕКВЕНИРОВАНИИ ДНК, МУТАГЕНЕЗЕ

Сегодня на уроке вы:

- изучите значение полимеразной цепной реакции в клонировании генов, секвенировании дезоксирибонуклеиновой кислоты, мутагенезе;
- научитесь описывать значение полимеразной цепной реакции в таксономии, медицине и криминалистике.

Знаете ли вы?

- В чем преимущество ПЦР перед другими методами диагностики?

Для получения значительных количеств интересующего нас материала проводят клонирование ДНК, предполагающее встраивание нужного нам фрагмента ДНК в векторную молекулу ДНК (вектор). Вектор обеспечивает проникновение этой рекомбинантной, или химерной, ДНК в бактериальные клетки. В качестве векторов используют плазмиды, фаги, аденовирусы. Особенно часто в качестве вектора служит плазмидная ДНК.

Ключевые понятия:

- клонирование ДНК
- секвенирование
- дидезоксинуклеотиды
- мутагенез

Плазмиды — это небольшие кольцевые двухцепочные молекулы ДНК, присутствующие в бактериальных клетках в разном количестве копий. Они имеют автономную систему контроля репликации, которая поддерживает их количество в клетках на определенном уровне — от нескольких единиц до нескольких сотен копий геномов на клетку.

Используемую для клонирования плазмидную ДНК и интересующую нас ДНК расщепляют по определенному участку рестриктазой, получают рекомбинантную ДНК, возвращают гибридную плазмиду в кольцевую форму и вводят в бактериальные клетки — происходит трансформация бактерий. При размножении трансформированных бактерий происходит увеличение числа копий введенного в плазмиду фрагмента ДНК. Таким образом чужеродный для бактерий генетический материал может быть получен в больших количествах. Вставку генов в чужеродный организм обычно используют для получения продукта этого гена — РНК или чаще всего белка. Так в промышленных количествах получают многие белки для использования в сельском хозяйстве, медицине (рис. 219).

В качестве клонирующих векторов часто используют фаги. Если ДНК вводят в эукариотические клетки, то эту процедуру называют *трансдукцией*.

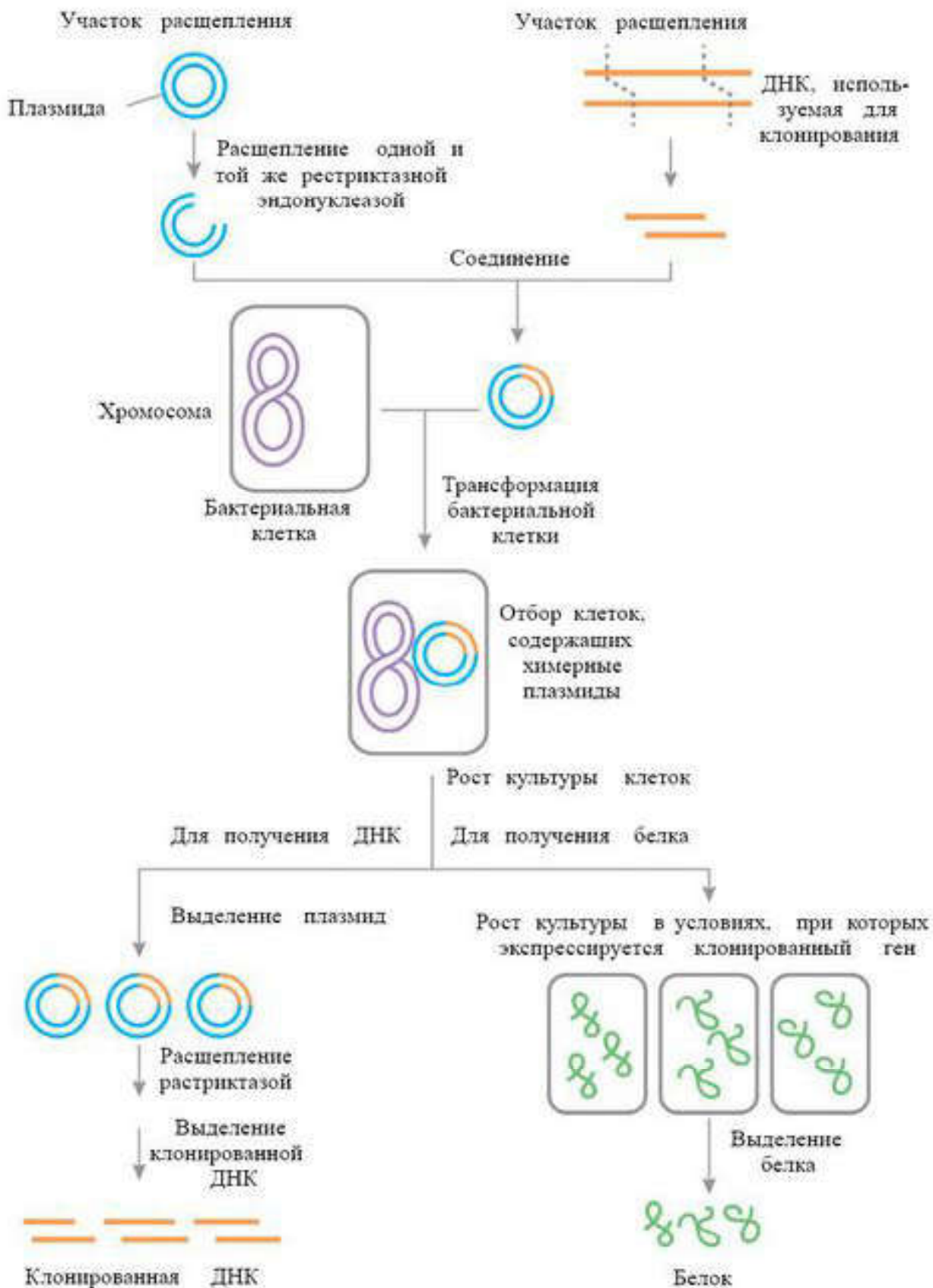


Рис. 219. ПЦР в клонировании генов

Секвенирование или дидезоксисеквенирование — это установление первичной структуры ДНК.

В реакционных пробах, содержащих денатурированную одноплетевую ДНК, ДНК-полимеразу, дезоксинуклеозидтрифосфаты (дНТФ)- дАТФ, 228

дЦТФ, дГТФ, дТТФ, один из которых является радиоактивным, и праймер инициирует синтез ДНК в присутствии специфических дидезоксинуклеозидтрифосфатов, или терминаторов — ддАТФ, ддЦТФ, ддГТФ или ддТТФ. Синтез ведут одновременно в четырех параллельных пробках, в каждую из которых наряду с компонентами реакционной смеси прибавляют один из четырех ддНТФ.

ддНТФ будут конкурировать с нормальными НТФ за включение в растущую полинуклеотидную цепь. При встраивании ддНТФ вместо соответствующего нуклеотида синтез ДНК прекращается. В результате в каждой из пробирок получается набор различающихся по длине меченых фрагментов ДНК с одним из специфических дидезоксинуклеотидов на конце. После одновременного разделения этих фрагментов в электрическом поле на 4 соседних дорожках и радиоавтографии размер синтезированных молекул может быть установлен. Это значит, что может быть определена локализация терминирующих дидезоксинуклеотидов. На основании этих данных устанавливают последовательность нуклеотидов во вновь синтезированных фрагментах, комплементарных ДНК-матрице.

В настоящее время создают приборы для автоматического одновременного секвенирования большого числа проб с использованием меченых разными флюорохромами дидезоксинуклеотидов.

Мутагенез с использованием ПЦР — это внесение изменений в нуклеотидную последовательность ДНК. Применяется в биотехнологии для получения более продуктивных штаммов бактерий. Использование ПЦР позволяет упростить и ускорить процедуру проведения мутагенеза и сделать ее более надежной и воспроизводимой.



Проверьте свои знания:



1. Что такое клонирование ДНК?
2. Что служит вектором при клонировании ДНК?
3. Что такое рекомбинантная ДНК?
4. Каково практическое применение клонирования ДНК?
5. В чем состоит значение мутагенеза с использованием ПЦР?



Что такое секвенирование?



Установите соответствие между терминами и их определениями:

№	Определение	Термины
1	2	3
А.	Установление первичной структуры ДНК	1. Геномная дактилоскопия
Б.	Короткие отрезки ДНК-бактерий	2. Клонирование ДНК

1	2	3
В	Встраивание нужного фрагмента ДНК в векторную молекулу ДНК и получение рекомбинантной ДНК	3. Плазмиды
Г	Количественное увеличение копий исследуемых фрагментов ДНК	4. Персонализированная медицина
Д	Индивидуальный ПЦР-анализ на восприимчивость организма к лекарственным препаратам	5. Мутагенез
Е	Ферменты, расщепляющие ДНК	6. Секвенирование
Ж	Молекула ДНК, обеспечивающая проникновение рекомбинантной ДНК в клетку бактерий	7. Вектор
З	Система идентификации с целью выявления различий между организмами на генном уровне	8. Амплификация

§ 125. ЭТАПЫ ГЕННО-ИНЖЕНЕРНЫХ МАНИПУЛЯЦИЙ

Сегодня на уроке вы:

- изучите этапы генно-инженерных манипуляций;
- научитесь объяснять этапы генно-инженерных манипуляций.

Знаете ли вы?

- Что такое генная инженерия?

Ключевые понятия:

- генная инженерия
- рекомбинантная ДНК
- вектор
- рестриктаза
- лигаза
- трансгенез
- плазмиды

В 1972 г. появилась первая публикация, в которой сообщалось о получении *in vitro* рекомбинантной ДНК, состоящей из фрагментов разных молекул ДНК — вирусной, бактериальной и фаговой. Работа была выполнена американским ученым Полом Бергом с сотрудниками и ознаменовала рождение новой отрасли молекулярной биологии — генетической (генной) инженерии.

Генная инженерия — целенаправленная перестройка генетического материала клетки, имеющей определенные свойства, внедрение его в другую клетку и таким образом изменение процесса размножения и обмена веществ. С помощью генной инженерии можно изменять наследственную информацию различных организмов в определенных целях, перестраивать их геномы по заранее установленному порядку. Генная инженерия — это целенаправленное перестраивание

функционально активных генетических структур на основе рекомбинантных молекул ДНК.

Сущность генной инженерии состоит в получении отдельных генов у одного организма и перемещение их в другой организм с помощью векторов. Этот процесс стал возможным благодаря открытию ферментов рестриктаз и лигаз и благодаря применению естественных репликонов низших биологических объектов — вирусов, плазмид прокариот. Фермент рестриктаза рассекает молекулы ДНК на фрагменты по строго определенным местам, названным сайтами рестрикции, а фермент лигаза сшивает фрагменты гетерогенной ДНК в единое целое. Молекула, в составе которой содержатся ДНК различного происхождения, называется *рекомбинантной*.

Рекомбинантная ДНК = ДНК прокариот или вирусов + ДНК эукариот
(вектор) (чужеродная ДНК)

Благодаря вектору чужеродная ДНК эукариот способна инфицироваться в клетку и интегрироваться в геном. Образовавшаяся рекомбинантная ДНК вводится в живую клетку, и после начала экспрессии нового гена клетка начинает синтезировать рекомбинантный белок. Таким образом, с помощью введения в клетку новой генетической информации в виде рекомбинантной молекулы ДНК, в итоге получается организм с новым признаком. Такой организм называется *трансгенным*, или *трансформированным*, так как процесс изменения такого организма и обретение нового качества называется *трансформацией*.

Чтобы осуществить перенос генов (или трансгенез), необходимо выполнить следующие сложные операции:

— создание специальных генетических конструкций (векторов), в составе которых намеченные гены будут внедряться в геном другого вида. Такие конструкции, кроме самого гена, должны содержать все необходимое для управления его работой (промоторы, терминаторы) и гены-«репортеры», которые будут сообщать, что перенос успешно осуществлен.

— внедрение генетических векторов сначала в клетку, а затем в геном другого вида и выращивание измененных клеток в целые организмы.

С помощью генно-инженерных методов удалось создать ценные для селекции новые формы растений.

В природе существует бактерия *Bacillus thuringiensis*, вырабатывающая белок — эндотоксин. При попадании этой бактерии в желудок насекомых-вредителей сельскохозяйственных растений эндотоксин вызывает разрушение стенок желудка и гибель насекомого. Такое свойство белка генные инженеры решили использовать для создания растений, устойчивых к насекомым. Они выделили из бактериальной

клетки ген, кодирующий эндотоксин, и встроили в состав природных генетических векторов — плазмид, присутствующих в клетках почвенной бактерии *Agrobacterium tumefaciens*. Этой бактерией были заражены кусочки растительной ткани, выращиваемой на питательной среде. Через некоторое время плазмиды, несущие ген белка-токсина, внедрились в растительные клетки, и ген встроился в ДНК растений. Затем кусочки растительной ткани перенесли на питательную среду другого состава, которая обеспечивает рост и развитие полноценных растений. Гусеницы насекомых, поев листья таких растений, погибали. Важно, что токсин оказался губельным для насекомых и безвреден для человека и травоядных животных.

Были разработаны и другие способы введения новой наследственной информации в клетки растений с использованием электрических разрядов и генной пушки, стреляющей частицами металла с нанесенными на них фрагментами ДНК.

Перспективы генной инженерии огромны, однако применение таких исследований должно проводиться с особой тщательностью и осторожностью. Полученные организмы с измененными генотипами должны проходить длительные контрольные испытания, прежде чем поступить в производство.



Проверьте свои знания:



1. Дайте определение понятию *генная инженерия*.
2. Какие новые исследования легли в основу генной инженерии?
3. В результате каких операций получается рекомбинантная ДНК?



Какова цель генно-инженерных работ?



Подготовьте электронную презентацию о достижениях генной инженерии в области растениеводства.

Интересно знать!

Внеклеточный матрикс сможет помочь людям регенерировать утраченные части тела. Новый подход применил Стивен Вульф, внедрив маленький кусок мочевого пузыря свиньи в ногу солдата, который потерял более чем 70% конечности при взрыве. Внеклеточный матрикс пробуждает в организме человека способность к самозаживлению. В результате эксперимента солдат Исайяс Эрнандес регенерировал большую часть ноги и восстановил ее силу, хотя изначально врачи советовали ему ампутировать конечность полностью.

§ 126. ЗНАЧЕНИЕ ГЕННОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Сегодня на уроке вы:

- изучите значение генной инженерии;
- научитесь объяснять этапы генно-инженерных манипуляций.

Знаете ли вы?

- Что позволяет преодолеть генетическая инженерия? Можно ли лечить болезни генно-инженерными методами?

Генетическая инженерия — совокупность методов биохимии и молекулярной генетики, с помощью которых осуществляется направленное комбинирование генетической информации любых организмов. Генетическая инженерия позволяет преодолевать природные межвидовые барьеры, препятствующие обмену генетической информацией между таксономически удаленными видами организмов, и создавать клетки и организмы с не существующими в природе сочетаниями генов, с заданными наследуемыми свойствами.

Ключевые понятия:

- *генная инженерия*
- *генотерапия*
- *клеточная инженерия*
- *каллус*

Генная инженерия — технология, с помощью которой можно изменить строение генов или внести в организм чужеродные гены с заданными функциями (рис. 220). А также лечить наследственные болезни человека.

Первая успешная попытка применить генотерапию в клинической практике была предпринята в 1990 г. в США. Ребенку, страдающему тяжелым комбинированным иммунодефицитом, связанным с дефектом гена, кодирующего аденозиндезаминазу, была введена неповрежденная копия гена. Извлеченные у больного клетки (Т-лимфоциты крови) культивировали в пробирке, при помощи ретровирусного вектора вводили неповрежденный ген аденозиндезаминазы и возвращали клетки больному.

Другая группа болезней, для которой существуют хорошие перспективы излечения генно-инженерными методами, — лизосомные болезни накопления.

На сегодняшний день поддаются излечению с помощью трансгеноз уже около 10 болезней человека.

К числу важных практических достижений генной инженерии следует также отнести создание диагностических препаратов. На сегодняшний день в медицинскую практику введено более 200 новых диагностикумов.

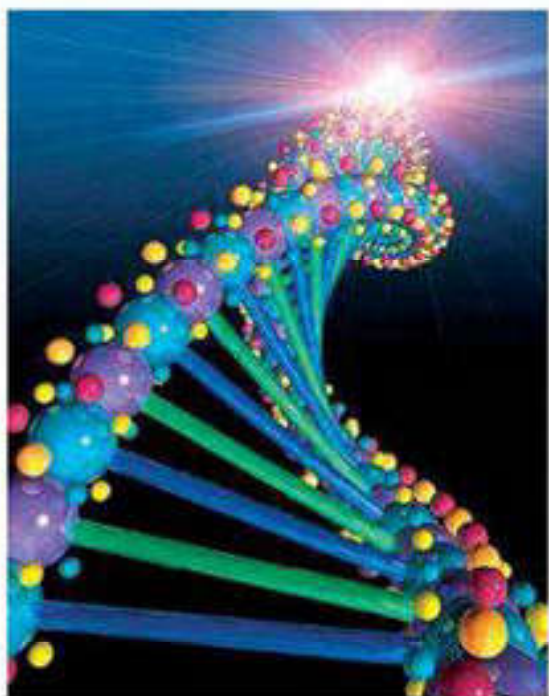


Рис. 220. Генная инженерия

Использование методов генетической инженерии для изучения проблем генетики и биологических наук. Развитие ряда новых методических приемов привело к расширению возможностей генетической инженерии на клеточном уровне. Определяющую роль сыграл метод гибридизации соматических клеток.

В 1960 г. Ж. Барский показал, что соматические клетки животных способны сливаться и объединять генетическую информацию двух родительских клеток. В 1965 г. Г. Харрис обнаружил, что частота гибридизации соматических клеток резко повышается при введении в смесь клеток частиц

РНК-содержащего вируса парагриппа типа Сендай, инактивированного ультрафиолетовым светом.

Под влиянием частиц вируса происходит слипание клеток и их последующее слияние друг с другом. Оказалось, что в таких условиях возможна гибридизация клеток, происходящих от далеких форм, таких, как клетки крысы и мыши, мыши и человека, раковой клетки и нормальной клетки человека и т. д. (рис. 221).

Эксперименты по слиянию клеток коснулись и мира растений. Оказалось возможным получать протопласты клеток растений, обрабатывая в гипертонической среде клетки мезофилла ферментами пектиназой и целлюлазой, действующими на соединительные части листа и клеточные оболочки. В гипертонической среде протопласты

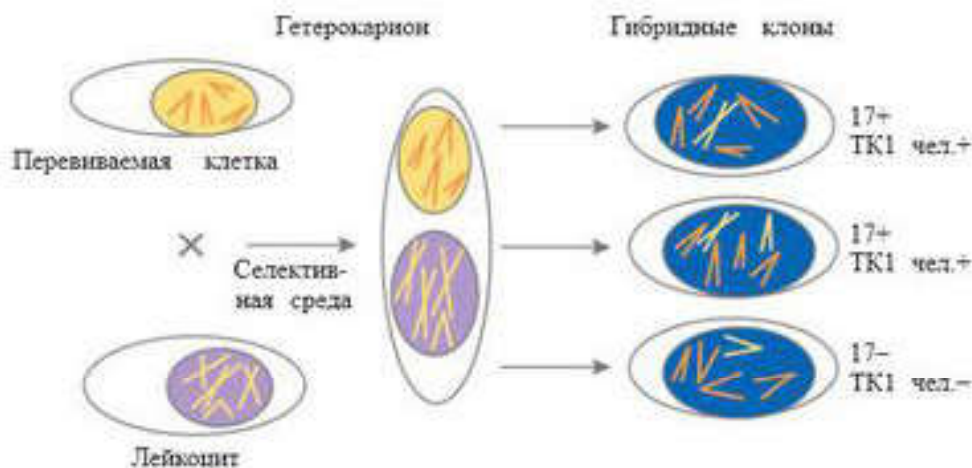


Рис. 221. Гибридизация соматических клеток

клеток растений выглядят как зеленые сферические образования, отделенные от окружающей среды только цитоплазматической мембраной. Эта модель сразу же привлекла к себе пристальное внимание как уникальный материал для изучения генетики растений. Несмотря на то, что культура тканей была разработана задолго до открытия способа культивирования изолированных протопластов, преимущества последней модели очевидны. Протопласты могут быть с высокой эффективностью клонированы в чашках Петри, что открывает подходы в селекции растений с использованием методов генетики микроорганизмов. Для некоторых видов растений (табак, морковь, томат и др.) из отдельного протопласта после регенерации клеточной оболочки и образования каллуса — ткани возможно формирование целого растения (рис. 222).



Рис. 222. Образование каллуса. Формирование целого растения

Подобно животным клеткам, обработанным инактивированным вирусом Сенда, протопласты растительных клеток также способны к слиянию. В данном случае в качестве индуктора выступают азотнокислый натрий, полиэтиленгликоль и другие соединения. Однако растительные модели от животных отличает принципиальная возможность клонирования целого растения с суммой признаков родителей из слившихся в единый протопласт двух партнеров по гибридизации. При слиянии клеток разных видов получены соматические гибриды. Для генетической инженерии растительных клеток этот путь открывает большие перспективы.

Клеточный и организменный уровни тесно взаимосвязаны. В текущее время интенсивно разрабатываются методы искусственного оплодотворения яйцеклеток млекопитающих и человека в пробирке и выращивания в этих условиях эмбриона. В модельных опытах с клетками животных стало возможным переносить ядро из одной клетки в другую, обеспечивать слияние в одно целое двух или нескольких эмбрионов на разных стадиях развития, дробить их на два или большее число, включать посторонние клетки в эмбрион и т. д.

Для генетической инженерии на уровне организмов большой интерес представляют случаи получения аллофенных мышей, т. е. особей, содержащих генотипически разные ткани, образованные из клеток, полученных от разных родителей. Такие особи с генотипически раз-

нокачественными тканями возникают при вмешательстве на самых ранних стадиях развития. Рождающийся мышонок является аллофенным, он несет ткани от разных родителей, т. е. объединяет их фенотипы. Можно получить аллофенные особи от трех, четырех и большего числа родителей. Аллофенные мыши, полученные из клеток даже гистонесовместимых родителей, развиваются нормально, без иммунных нарушений. Это показывает, что иммунологическая толерантность — не просто выражение генотипа животного, она является итогом развития.

Большие перспективы открывает внесение ядра соматических клеток в безъядерные яйцеклетки. Дж. Гердон в 1962 г. в опытах с амфибией *Xenopus laevis* показал, что пересадка ядра из клеток кишечного эпителия головастика в яйцеклетки, ядро которых было убито ультрафиолетовым светом, дает полноценное развитие особей.

При пересадке в безъядерные яйцеклетки ядер из соматических клеток одной и той же особи мы имеем метод получения клона генотипически тождественных особей. При осуществлении таких приемов для млекопитающих они могут приобрести важнейшее практическое значение. В стадах крупного рогатого скота, овец и других животных встречаются генотипически уникальные животные с особенно высокой продуктивностью: с высокими удоями молока, густой и длинной шерстью и т. д. Клонирование посредством пересадки ядер из соматических клеток таких особей, учитывая возможность получения практически неограниченного количества ядер от одного животного, в безъядерные яйцеклетки открыло бы путь к колоссальному повышению производительности в сельском хозяйстве.

Новые возможности для изучения взаимодействия ядра с цитоплазмой на уровне соматических клеток дает метод реконструкции клеток млекопитающих после соединения ядра и цитоплазмы из разных источников. Клетки разделили на ядро (кариопласт) и на цитоплазму (цитопласт) цитохалазином. Меченный Н-тимидином кариопласт с помощью инактивированного вируса Сендай был введен в цитопласт. Такие реконструированные клетки размножились.

Разработка методов микрохирургии яйцеклеток создала возможность клонирования млекопитающих. Удаление одного пронуклеуса из оплодотворенного яйца позволило осуществить развитие на базе генома оставшегося гаплоидного пронуклеуса. После удвоения набора появляются полностью гомозиготные особи. Поскольку такими особями могут быть только самки, так как особи с половыми хромосомами — YY — погибают, обычное половое размножение при получении клона невозможно. Клонирование может быть достигнуто лишь при повто-

рени процедуры удаления из оплодотворенной яйцеклетки мужского пронуклеуса. Повторяя эту процедуру у потомков, можно получить группу особей, идентичных друг другу по генотипу, подлинно гомозиготных, повторяющих генотип исходного материнского генома, т. е. образовать клон из особей млекопитающих.



Проверьте свои знания:



1. Генетическая инженерия — это...
2. Назовите первые попытки применения генотерапии в клинической практике.
3. Какую роль сыграл метод гибридизации соматических клеток?
4. Расскажите о применении этого метода у животных.
5. Как осуществляется этот же метод у растений?
6. Как получают аллофенных мышей?



Расскажите о методах микрохирургии яйцеклеток.



1. Охарактеризуйте значение генной инженерии.
2. Почему достижения молекулярной биологии имели большое значение для развития генной инженерии?
3. Приведите примеры практических результатов генной инженерии.



1. При транскрипции участка ДНК, отвечающего за синтез человеческого интерферона, образовалась молекула иРНК, имеющая строение УУУЦЦАААГАУГ-ГЦА... Установите структуру молекулы ДНК, которую необходимо встроить в ДНК кишечной палочки для продуцирования интерферона. Из каких аминокислот будет образован данный участок белка? Составьте белковую цепочку на магнитной доске.
2. Первые 5 аминокислот в инсулине следующие: фенилаланин – валин – аспарагиновая кислота – глутаминовая кислота – гистидин. Замените любой участок ДНК кишечной палочки, имеющей следующее строение: ГАГГТТГАГГЦЦАЦ-ЦТГАТГАГЦ на участок молекулы ДНК, который бы позволил бактерии продуцировать инсулин.



1. Подготовьте презентацию на тему "Значение генной инженерии".
2. Какие аспекты развития современного общества способствуют развитию генной инженерии? Каковы перспективы ее развития?

Интересно знать!

Факт. Животные, выращенные с помощью биотехнологии, если и отличаются от обычных животных, то в лучшую сторону: клонирование и генная инженерия – это всего лишь еще один инструмент для выведения новых пород, а этим люди тысячи лет занимались неосознанно и около ста лет – на основе данных генетики.

§127. ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ СТОРОНЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОРГАНИЗМОВ

Сегодня на уроке вы:

- изучите положительные и отрицательные стороны использования генетически модифицированных организмов;
- научитесь обсуждать этические вопросы применения генетически модифицированных организмов.

Знаете ли вы?

- Что вы знаете о модифицированных организмах? Расскажите.

Ключевые понятия:

- *трансгенные организмы*
- *генетически модифицированные продукты*

Генетически модифицированный организм (сокращенно — ГМО) — организм, генотип которого изменен с помощью методов генной инженерии для придания организму новых свойств. Картофель, который не ест колорадский жук; помидоры, устойчивые к

морозам; кукуруза, не чувствительная к ядохимикатам, — все это не что иное, как генетически модифицированные организмы. ГМО (или трансгенные организмы) — растения и животные, не существовавшие прежде в природе и полученные путем коррекции генетического кода (рис. 223).

Сегодня ГМО более 100, и встречаются они не только в закрытых лабораториях, но и на прилавках магазинов и рынков. Первые трансгенные продукты были получены североамериканской компанией “Монсанто” в конце 80-х г. и сегодня широко распространились по миру. Однако, их безопасность для человека и экологической системы Земли до конца не изучена.

У данного пути развития селекции есть свои преданные сторонники и ярые противники.

Положительные стороны использования ГМО заключаются в том, что генетически модифицированные продукты решают продовольственную проблему, так как они имеют качественно новые свойства — устойчивость к пестицидам, способность отпугивать насекомых-вредителей, морозоустойчивость, засухоустойчивость, длительность хранения плодов. При этом отпадает необходимость во внесении химических инсектицидов, от которых страдают люди, насекомые, птицы. Молекулярные биологи передали винограду ген морозоустойчивости от дикорастущего родственника капусты брокколи. Получение морозоустойчивого сорта заняло всего год. Обычно выведение нового сорта винограда занимает

25—35 лет, при этом традиционные методы не позволяют переносить гены от других растений, не относящихся к роду винограда. Также можно создать особые геномодифицированных животных, которые будут давать много продукции и при этом не требовательны к пище, стойки к заболеваниям.

Из практических достижений генной инженерии наиболее важными являются создание продуцентов биологически активных белков — инсулина, интерферона, гормона роста. Разработка способов активации звеньев обмена веществ, которые связаны с образованием низкомолекулярных биологически активных соединений, дала продуцентов ряда антибиотиков, аминокислот, витаминов во много раз более эффективных, чем их продуценты, выведенные традиционными методами генетики и селекции. Разрабатываются способы получения чисто белковых вакцин против гепатита, гриппа, герпеса. Достаточно быстро начала развиваться генная терапия — лечение наследственных, многофакторных и инфекционных заболеваний путем введения в соматические клетки генов, которые обеспечивают исправление генных дефектов или придают клеткам новые функции. ГМ-источники применяются в медицине для создания вакцин с повышенной эффективностью действия. Например, вакцина, защищающая от аллергических реакций, вызванных вдыханием пылицы различных растений. Ее активным ингредиентом служит ГМ-белок.

Генная инженерия открывает перед человечеством огромные возможности. Безусловно, риск существует всегда. Открытия генной инженерии могут стать орудием против человечества. Умело распорядиться знанием — это искусство. Именно им нужно овладеть в совершенстве, чтобы избежать роковой ошибки.

Специалисты — противники ГМО утверждают, что генетически модифицированные организмы несут угрозу в виде аллергических заболеваний, появления желудочной микрофлоры, стойкой к антибиотикам.



Рис. 223. Коллекция мутантов кукурузы, полученных *in vitro*.

Генетики признают, что вмешательство в геном живых организмов не может пройти бесследно, так как каждый ген в молекуле ДНК за что-то отвечает. Меняя эту совершенную структуру по своему усмотрению, человек нарушает отлаженный природой механизм. Чем это обернется в будущем, предположить очень трудно.

Следующее опасение противников ГМО связано с тем, что манипуляции с генами могут привести к исчезновению в местах выращивания ГМ-растений целых групп насекомых, возникновению новых мутантных форм сорных растений и насекомых, биологическому и химическому загрязнению почв и постепенной потере биоразнообразия.

Сказать официально, что ГМО вредны, не может никто. Чаще всего употребляется такой термин, как "потенциально опасные ГМО". Чтобы сделать заявление о вреде ГМО, необходимо провести длительные и масштабные исследования и эксперименты. Чтобы выявить все последствия употребления продуктов с ГМО, необходимо 50 и более лет. Это немалый срок. Большим минусом ГМО-продуктов является то, что не выяснено их влияние на организм при длительном употреблении.

Учитывая то, что в научном мире нет единого мнения относительно безопасности ГМО, нет лабораторий, способных в необходимом объеме проводить количественные оценки содержания генетически модифицированного белка в пищевых продуктах, нет утвержденных методик и средств для осуществления постоянного контроля, решение употреблять или нет трансгенные продукты каждый должен принимать самостоятельно.



Проверьте свои знания:



1. Дайте определение понятию *генетически модифицированные организмы*.
2. Приведите примеры положительной стороны использования генной инженерии в сельском хозяйстве.
3. Как используются достижения генной инженерии в медицине?



Охарактеризуйте отрицательные стороны генной инженерии для человечества.



Используя научно-популярную литературу, охарактеризуйте основные подходы к регулированию ГМО в международной практике.



Разделившись на две группы, проведите дискуссию на тему "Плюсы и минусы ГМО".

Для дискуссии используйте вопросы:

1. Продукты с ГМО вредны?
2. Могут ли вызывать рак продукты с ГМО?
3. Приводят ли к мутации продукты с ГМО?
4. Необходимо ли запретить производство продуктов ГМО на территории Казахстана?

§ 128. ЭТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ОРГАНИЗМОВ

Сегодня на уроке вы:

- изучите этические вопросы применения генетически модифицированных организмов;
- научитесь обсуждать этические вопросы применения генетически модифицированных организмов.

Знаете ли вы?

- Что такое ГМО? Каково ваше отношение к ГМО?

Ключевые понятия:

- ГМО

Под фразой “генетически модифицированные организмы”, или сокращенно ГМО, понимают живые организмы, которым при помощи генно-инженерных манипуляций приданы некоторые полезные свойства.

Например, в растения можно ввести гены, отвечающие за устойчивость к вредителям, гербицидам, неблагоприятным условиям произрастания. Или в геном животных можно ввести модификации, позволяющие увеличить содержание полезных белков в молоке.

Правительство нашей республики подготовило к внесению свой вариант закона о совершенствовании государственного регулирования в области контроля использования генетически модифицированных организмов (ГМО). Правительство предлагает ужесточить регулирование в области ГМО, ввести трансграничный контроль такой продукции, создать систему мониторинга и ввести миллионные штрафы для юридических и должностных лиц за нарушение действующих законов, регулирующих вопросы ГМО, а также обязать наносить маркировку на продукты с ГМО.

Законы о совершенствовании государственного регулирования в области контроля использования генетически модифицированных организмов (ГМО) существуют в настоящее время в большинстве европейских государств. В Соединенных Штатах Америки содержание ГМО в продуктах не регламентируется. Однако известны случаи, когда отдельные генетически модифицированные растения запрещались к употреблению в пищу. Очевидно, появление таких законодательных установок отражает определенную озабоченность государственных органов и широких слоев общественности вопросами, связанными с ГМО.

Казахстанские ученые уже готовы предложить ряд разработок в области селекции и генной инженерии. Путем агробактериальной трансформации были созданы устойчивые к бактериальным поражениям

Противники генной инженерии растений, требуя доказать 100%-ю безвредность трансгенных растений, не понимают, что требовать доказательств отрицательных утверждений нелогично: доказываются только положительные утверждения. Ученые говорят: «При некоторых условиях некоторые генетически модифицированные продукты (или растения) для некоторых людей (или экосистем) могут быть вредны», а их оппоненты обобщают: «Вредны все, всегда и для всех».



Рис. 225. Противники генетически модифицированных растений из международной экологической организации Гринпис захватили в Англии поле, засеянное трансгенными культурами.

Сохранение биоразнообразия. Применение генетически модифицированных растений позволяет увеличить производство сельскохозяйственной продукции, не расширяя площади пахотных земель. Это очень важно для сохранения биосферы, поскольку в развивающихся странах ежегодно вырубаются 13 млн. гектаров лесов под сельскохозяйственное и промышленное использование.



Проверьте свои знания:



1. Что такое биотехнология, биобезопасность, генная инженерия?
2. Что такое «трансгенный организм»? Какова цель создания трансгенных организмов?
3. Перечислите меры предосторожности, которые должны применяться в генно-инженерной деятельности.
4. Дайте оценку риска неблагоприятных эффектов воздействия генно-инженерных организмов на здоровье человека.



1. Темы для проведения дискуссии:
 1. Биотехнология, биобезопасность и генная инженерия: история вопроса.
 2. Генно-инженерные организмы на службе у медицины.
 3. Основные факторы риска генно-инженерной деятельности для здоровья человека и окружающей среды. Принцип принятия мер предосторожности.
 4. Этические аспекты создания и использования трансгенных растений и животных.
2. Разделившись на малые группы, проведите дискуссию на тему «Этические проблемы применения ГМО».



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБОБЩЕНИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИИ ЗНАНИЙ ПО РАЗДЕЛУ

1. Дайте определение биотехнологии. Назовите ее направления.
2. Каковы особенности организации генома прокариот и эукариот?
3. Каково положение гена в биотехнологии?
4. Охарактеризуйте химический и ферментативный синтез генов.
5. Назовите биотехнологические векторы, их виды.
6. Каковы свойства плазмид, их распространение, использование в биотехнологии?
7. Генная инженерия – это... Назовите ее основные методы.
8. Как осуществляется рекомбинация ДНК? Каковы принципы ее получения, использования в биотехнологии?
9. Что собой представляют генетически модифицированные организмы?
10. Как осуществляется биотехнология получения инсулина?
11. Назовите биотехнологические методы получения интерферона.
12. Дайте характеристику биотехнологии получения незаменимых аминокислот.
13. Как осуществляется получение ферментов (энзимов) биотехнологическим путем?
14. Охарактеризуйте получение соматических гибридных клеток, их использование в биотехнологии.
15. Для чего используется клонирование животных? Назовите принципы методов и перспективы.
16. Как используется биотехнология производства кисломолочных продуктов?
17. Для чего необходима биотехнология получения первичных метаболитов: витаминов, органических кислот?
18. Назовите положительные стороны использования микроорганизмов в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, быту.
19. Назовите отрицательные стороны использования микроорганизмов в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, быту.
20. В каких случаях применяется полимеразная цепная реакция?
21. Назовите этапы одного цикла полимеризации.
22. Что можно получить с помощью ПЦР?
23. Каково значение ПЦР в криминалистике?
24. Какую роль играет ПЦР в установлении отцовства?
25. Как используется ПЦР в медицинской диагностике?
26. Какое место занимает ПЦР в персонализированной медицине?
27. Какое значение имеет ПЦР в клонировании генов?
28. Назовите значение ПЦР в секвенировании ДНК.
29. Как используется ПЦР в мутагенезах?
30. Что собой представляет генная инженерия?
31. Каково значение генной инженерии?
32. Назовите положительные и отрицательные стороны использования генетически модифицированных организмов.

ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ

Актин и миозин — сократительные белки.

Алель — вариант гена, контролирующий одно из проявлений признака.

Альтернативные признаки — (взаимоисключающие, контрастные) признаки.

Альтернативный — взаимоисключающий.

Анализирующее скрещивание — скрещивание гибридной особи Aa с особью, гомозиготной aa по рецессивным аллелям.

Анаэробное дыхание — это совокупность процессов, осуществляющих окисление органических веществ и получение энергии при отсутствии кислорода.

Антигены — вещества, воспринимающиеся организмом как чужеродные и вызывающие специфическую иммунную реакцию.

Антитела — глобулярные белки, специфически связывающиеся с чужеродными веществами (антигенами) и обеспечивающие иммунитет.

Ареал вида — территория, на которой обитает представитель данного вида.

Ароморфоз — возникновение в ходе эволюции признаков, которые существенно повышают сложность уровня организации живых организмов.

АТФ — нуклеозидтрифосфат, имеющий большое значение в обмене энергии и веществ в организмах. АТФ — универсальный источник энергии для всех биохимических процессов, протекающих в живых системах, в частности, для образования ферментов.

АТФ-синтетаза — группа ферментов, относящихся к классу гидролаз, синтезирующих аденозинтрифосфат (АТФ) из аденозиндифосфата (АДФ) и неорганических фосфатов.

Аутосомы — неполовые хромосомы, одинаковые у обоих полов.

Аэробное дыхание — совокупность процессов, осуществляющих окисление органических веществ и получение энергии с участием кислорода.

Биотехнология — дисциплина, изучающая возможности использования живых организмов, их систем или продуктов их жизнедеятельности для решения технологических задач, а также возможности создания живых организмов с необходимыми свойствами методом генной инженерии.

Биотический потенциал — это совокупность факторов, способствующих увеличению численности вида.

Вазопрессин, или антидиуретический гормон — пептидный гормон гипоталамуса, найденный у большинства млекопитающих. В большинстве случаев он содержит аргинин, поэтому может называться вазопрессином аргинина или аргипрессином.

Вегетативное размножение — вид бесполого размножения: размножение с помощью отделения части тела взрослого организма (черенки, почкование) или с помощью видоизмененных частей организма (клубни, луковицы, корневища).

Вектор — в генной инженерии — искусственная генетическая конструкция для переноса генетической информации в чужеродную клетку; в качестве вектора используются плазмиды бактерий, вирусы.

Видообразование — это сложнейший эволюционный процесс возникновения нового вида.

Гамета — половая клетка.

Гаплоидный — имеющий один набор хромосом (n).

Ген — элементарная единица наследственности; участок ДНК, кодирующий одну полипептидную цепь или одну молекулу РНК.

Генетика — наука о закономерностях наследственности и изменчивости, лежащих в основе развития органического мира.

Геном — совокупность молекул ДНК гаплоидного набора хромосом; полный набор генов определенного вида организмов.

Гетерозигота — организм или клетка, у которых гомологичные клетки несут различные аллели одного и того же гена.

Гибрид — организм, полученный в результате объединения отличающихся друг от друга геномов.

Гибридологический метод исследования — скрещивание родительских особей по альтернативным (контрастным) признакам.

Гликоген — полисахарид, животный крахмал.

Глобулярные белки — белки, представляющие собой клубочек.

Гомозигота — диплоидная или полиплоидная клетка или организм, у которых гомологичные хромосомы несут идентичные аллели одного гена.

Гомологичные хромосомы — пара хромосом диплоидной клетки, содержащих одинаковый набор генов и имеющих одинаковую морфологию.

Гомология — сходство между представителями разных видов, обусловленное общностью их происхождения.

Гормоны — биологически активные вещества, синтезируемые специализированными клетками и оказывающие целенаправленное действие на другие клетки и ткани.

Группа крови — это различия по составу определенных антигенов и антител.

Денатурация белков — изменение уникальной природной структуры белка от третичной до первичной структуры.

Дивергенция — расхождение признаков у родственных видов за счет приспособления к разным условиям среды.

Дигибридное скрещивание — скрещивание родительских особей по двум парам альтернативных признаков.

Динамическая работа выражается в перемещении тела или его частей. Такая работа совершается при поднятии тяжестей, ходьбе, беге.

Диплоидный — имеющий двойной набор хромосом ($2n$).

Дискретный — состоящий из отдельных частей.

ДНК — дезоксирибонуклеиновая кислота, носитель наследственных задатков (признаков).

Доминантный признак — преобладающий, обозначается большой буквой латинского алфавита.

Дробление — последовательные митотические деления оплодотворенной яйцеклетки (или неоплодотворенной яйцеклетки при партеногенезе).

Дыхание — это совокупность реакций биологического окисления органических веществ с выделением энергии, необходимой для жизнедеятельности организма.

Дыхательная цепь переноса электронов — система структурно и функционально связанных трансмембранных белков и переносчиков электронов.

Идиоадаптация — частное приспособление к местным условиям.

Изменчивость — общее свойство всех организмов приобретать признаки — различия между особями в пределах одного вида.

Инсулин — гормон поджелудочной железы, участвующий в регуляции углеводного обмена.

Интерфаза (от англ. *interphase*) — период клеточного цикла, подразделяющийся на G_1 -, S- и G_2 -фазы; стадия клеточного цикла между двумя делениями.

Карты хромосом — схема порядка расположения и относительных расстояний между генами определенных хромосом.

Клетка — элементарная структурная единица живой системы.

Клеточное дыхание — сложный процесс, в ходе которого происходит расщепление органических веществ (в конечном итоге — до простейших неорганических веществ).

Клеточный цикл — промежуток жизни клетки от одного митотического деления до другого.

Клон — совокупность клеток или особей, происходящих от одного предка путем бесполого размножения.

Кодон (или триплет) — последовательность трех нуклеотидов, кодирующая включение в синтезированный белок строго определенной аминокислоты.

Конвергенция — схождение признаков у неродственных видов вследствие приспособления к сходственным условиям среды.

Конъюгация — процесс, при котором гомологичные хромосомы тесно соединяются друг с другом продольно (хроматида к хроматиде) и закручиваются.

Критерий вида — это совокупность признаков, отличающих данный вид от другого.

Кроссинговер — обмен участками хромосом во время конъюгации.

Матрица — однонитчатая ДНК, которая комплементарна синтезируемой цепи ДНК или РНК. Матрица определяет последовательность нуклеотидов.

Мезодерма — средний зародышевый листок у большинства многоклеточных животных.

Мейоз — деление (размножение) половых клеток.

Метаболизм — обмен веществ.

Митоз — непрямоe деление эукариотических клеток.

Модификация — ненаследственное изменение.

Мутаген — физический или химический фактор, увеличивающий частоту мутаций.

Мутация — наследственное изменение; изменение гена.

Мышцы-разгибатели обеспечивают разгибание конечности в суставе.

Мышцы-сгибатели обеспечивают сгибание конечности в суставе.

Наследственность — это общее свойство всех организмов сохранять и передавать особенности строения и функций организмов от родителей к потомкам.

Насыщенные жирные кислоты. Особенным свойством таких жиров является то, что они не теряют свою твердую форму при комнатной температуре. Насыщенные жиры наполняют организм человека энергией и активно участвуют в процессе строения клеток.

Нейрокомпьютерный интерфейс (НКИ). Система создана для обмена информацией между мозгом и электронным устройством, например, компьютером.

Нейрон — нервная клетка.

Неполное доминирование — неполное подавление доминантным геном рецессивного гена.

Нервный импульс — слабый биоэлектрический ток, распространяющийся по нервным волокнам со скоростью 0,5—120 м/сек.

Несахарный диабет — это синдром, вызванный дефицитом в организме вазопрессина; синдром, проводимый нехваткой антидиуретического гормона в организме и протекающий в комплексе с нарушением водного обмена.

Нефрон — почечное тельце.

Нуклеозид состоит из остатков азотистого основания и пятиуглеродного сахара.

Нуклеотид — мономер молекул ДНК и РНК. Состоит из остатков трех веществ: азотистого основания, пятиуглеродного сахара и фосфорного остатка.

Олигосахариды. Углеводы данной группы состоят из двух (диозы) или трех (триозы) молекул моносахаридов в составе.

Онтогенез — индивидуальное развитие особи.

Организаторы — определенные участки эмбриона, оказывающие влияние на соседние участки и направляющие их развитие в определенном направлении.

Органонды — постоянные клеточные структуры, обеспечивающие выполнение специфических функций в процессе жизнедеятельности клеток. Мембранные органонды — плазматическая мембрана, ядерная оболочка, эндоплазматическая сеть, аппарат Гольджи, лизосомы, митохондрии, пластиды. Немембранные органонды — хромосомы, рибосомы, центриоли, цитоскелет, реснички, жгутики.

Осморецепторы — рецепторы, воспринимающие изменения осмотической концентрации окружающей жидкости.

Осмоз — процесс односторонней диффузии через полупроницаемую мембрану молекул растворителя в сторону большей концентрации растворенного вещества из объема с меньшей концентрацией растворенного вещества.

Осмотическое давление — избыточное гидростатическое давление на раствор, отделенный от чистого растворителя полупроницаемой мембраной, при котором прекращается диффузия растворителя через мембрану (осмос).

Партеногенез — форма полового размножения, при которой женские половые органы развиваются без оплодотворения.

Пассивный транспорт — перенос веществ из области высокой концентрации в область низкой без затрат энергии.

Пелосфера — почвенный покров земли.

Пектиновые вещества — это полисахариды, содержащиеся в яблочных и цитрусовых выжимках, жоме сахарной свеклы, в моркови, абрикосах, корзинках подсолнечника, а также в других не менее популярных растениях.

Первый закон Г. И. Менделя — это закон единообразия гибридов первого поколения.

Перекрест — обмен идентичными участками гомологичных хромосом во время профазы мейоза.

Перитонеальный диализ. Очищение крови происходит с помощью брюшины в брюшной полости. В брюшную полость через установленный катетер (гибкую трубочку) заливается специальный раствор, в который из крови поступают токсичные вещества и лишняя жидкость.

Пиримидиновые основания — производные пиримидина — цитозин и тимин в ДНК.

Пищевая цепь — ряд взаимосвязанных видов, последовательно извлекающих вещества и энергию из исходного пищевого вещества.

Плазмаферез — процедура забора крови, очистка и возвращение ее или какой-то части обратно в кровоток.

Плазмиды — внехромосомные молекулы ДНК, не являющиеся жизненно необходимыми для клетки.

Полиплоидия — кратное увеличение числа хромосом.

Полисахариды — высокомолекулярные углеводы, полимеры, мономерами которых являются простые сахара; очень объемные, гигантские молекулы, состоящие из сотен мономерных звеньев, "сшитых" между собой гликозидными химическими связями.

Полное доминирование — это вид взаимодействия аллельных генов, при котором фенотип гетерозигот Аа не отличается от фенотипа гомозигот АА по доминанте.

Полуконсервативная модель — тип репликации ДНК, при котором молекула делится продольно, каждая половина сохраняется и служит матрицей для образующейся новой нити.

Популяция — совокупность свободно скрещивающихся особей одного вида, длительное время существующая в определенной части ареала, относительно обособленная от других совокупностей этого же вида.

Постсинтетическая (G_2) ($2n4c$) — ДНК уже не синтезируется, но происходит исправление недочетов, допущенных при синтезе ее в S-период (репарация).

Почкование — способ бесполого размножения, при котором на материнском организме образуется вырост — почка. Из почки развивается новая особь.

Правило Э. Чаргаффа — число пуриновых оснований в ДНК всегда равно числу пиримидиновых, количество аденина равно количеству тимина, а гуанина — количеству цитозина.

Превращение — преобразование организма в процессе постэмбрионального развития, в результате которого личинка превращается во взрослый орган.

Пресинтетический период (G_1) ($2n2c$, где n — число хромосом, c — число молекул ДНК) — рост клетки, подготовка к следующему периоду. Идет сразу после деления клетки.

Природные ресурсы (естественные ресурсы) — компоненты природы, используемые человеком. Главные виды природных ресурсов — минеральные, земельные, климатические, водные, биологические.

Приспособленность — результат действия факторов эволюции.

Проба Реберга — Тареева — высокоинформативный метод диагностики почечных патологий.

Промотор — узнаваемый РНК-полимеразой участок ДНК, с которого начинается синтез любой РНК.

Пуриновые основания — производные пурина. Из них в состав нуклеиновых кислот входят аденин и гуанин.

Радионуклиды — радиоактивные ядра и атомы.

Регулярные гены — участки ДНК, специфически включающие или выключающие транскрипцию структурных генов в разных органах и тканях, на разных стадиях развития организма.

Редукционное деление — уменьшение числа хромосом в кратном отношении от $2n$ до $1n$.

Редукция — недоразвитие или полное исчезновение органа, который был нормально развит у предковых форм или на более ранних стадиях онтогенеза.

Редуцирующие сахара обозначают группу сахаров, которые в химической реакции оказывают восстанавливающее действие на соответствующие реагенты. Моносахариды и большинство дисахаридов обладают редуцирующей способностью, все они обязаны (альдегидной) карбоксильной группе, которую они имеют в своей же молекуле.

Резус-фактор — это специфический антиген или белок, который находится в мембране эритроцитов. У тех людей, у кого этого антигена нет, имеют отрицательный резус.

Рекомбинация — перераспределение родительского генетического материала в потомстве в результате перекреста и расхождения гомологичных хромосом в мейозе.

Ренатурация белков — восстановление белковой молекулы от первичной до третичной структуры.

Репарация — особая функция клеток, заключающаяся в способности исправлять химические повреждения и разрывы в молекулах ДНК, поврежденных при нормальном биосинтезе ДНК в клетке или в результате воздействия физических или химических агентов. Осуществляется специальными ферментными системами клетки.

Рецептор — периферическая специализированная часть анализатора, посредством которой только определенный вид энергии трансформируется в процесс нервного возбуждения.

Рецессивный признак — внешне подавленный, но сохранившийся в генотипе, обозначается малой буквой латинского алфавита.

РНК — рибонуклеиновая кислота. РНК — информационная, РНК — транспортная, РНК — рибосомальная.

Рычаг — работа мышц сгибателей и разгибателей. Кости начинают двигаться вокруг точки опоры под влиянием приложенной к ним силы.

Сигмоидная (S-образная) форма — такой тип роста зависит от плотности популяции, которая влияет на истощение пищевых ресурсов и накопление токсичных продуктов.

Симпорт — парный транспорт двух различных органических молекул или ионов через мембрану клетки благодаря активному транспорту, осуществляемому специфическими белками, расположенными внутри мембраны. Такие белки называются котранспортерами.

Синдром Пархон — синдром неадекватной секреции антидиуретического гормона, синдром неадекватной продукции вазопрессина, СНПВ, синдром гиперсекреции АДГ, гипергидропексический синдром, несахарный антидиабет) — гиперфункция гипоталамуса и задней доли гипофиза с повышенной продукцией вазопрессина.

Синтетическая (S) (2n+с) — происходит удвоение генетического материала путем репликации ДНК.

Сперматозоид — мужская половая клетка — гамета.

Споры — специализированные клетки некоторых растений и грибов, служащие для бесполого размножения.

Статическая работа — удерживание частей тела в определенном положении, удерживание груза, стояние, сохранение позы.

Строма — пространство между мембраной хлоропласта и тилакоидами называется стромой. В стромах содержатся хлоропластные молекулы РНК, пластичная ДНК, рибосомы.

Суберин и воски — вещество покровной ткани в коре некоторых растений.

Терминатор — участок ДНК, на котором завершается синтез любой РНК.

Токсины — ядовитые вещества.

Трансгенез — внесение чужеродной или измененной генетической информации в геном животных, растений или микроорганизмов.

Транслоказа — фермент, обеспечивающий перемещение молекулы мРНК вдоль рибосомы в процессе трансляции.

Транспирация — испарение воды с поверхности растения через устьица листьев, кутикулу, чечевички.

Трансплантация — пересадка тканей или органов.

Трансформизм — система представлений об изменчивости видов.

УЗИ — это современный неинвазивный метод диагностики. УЗИ не наносит вреда человеку. С помощью УЗИ можно выявить самые различные патологии органов и систем.

Унипорт — один из способов транспорта молекулы иона как пассивно, так и активно, относящийся к процессу облегченной диффузии.

Уравнение Фика — испарение через мембрану. Это процесс разделения жидких смесей, основанный на различной скорости переноса компонентов смеси через полупроницаемую мембрану вследствие различных значений их коэффициентов диффузии.

Фенотип — совокупность всех признаков организма.

Фермент — белок, катализирующий биохимическую реакцию в клетке, в организме.

Фибриллярный белки — нитевидные белки.

Фосфолипиды — сложные липиды, включающие фосфор — каркас клеточной мембраны.

Фосфорилирование — процесс переноса остатка фосфорной кислоты от фосфорилирующего агента-донора к субстрату, как правило, катализируемый ферментами и ведущий к образованию сложных эфиров фосфорной кислоты.

Фотопериодизм — изменения в процессах роста и развития организмов, связанные с изменением длины светового дня.

Хитин — опорный полисахарид беспозвоночных и грибов.

Хитин — является структурным компонентом покровов членистоногих и клеточных стенок грибов.

Хлорофилл — зеленый пигмент растений, с помощью которого они улавливают энергию солнечного света.

Холестерол — органическое соединение, природный полициклический липофильный спирт, содержащийся в клеточных мембранах всех животных и человека.

Хроматида — половина хромосомы после удвоения ДНК; одна хроматида содержит одну молекулу ДНК.

Хромопласты — органоиды растительных клеток; содержат пигменты, преимущественно каротиноиды, придающие красную, желтую или оранжевую окраску осенним листьям, многим сочным плодам, корням моркови, свеклы и др.

Хромосомы — немембранные органоиды клеточного ядра, состоящие из ДНК и упаковочных белков и являющиеся носителями генетической информации.

Целлюлоза (или клетчатка) — основной опорный полисахарид клеточных стенок растений, один из самых распространенных природных полимеров.

Центромера — участок хромосомы, к которому прикрепляются нити веретена во время митоза и мейоза.

Цитоплазма — внутреннее содержимое клетки, включающее различные органоиды.

Цитохромы — это крупные мембранные белки (за исключением наиболее распространенного **цитохрома с**, который является маленьким глобулярным белком), которые содержат ковалентно связанный гем, расположенный во внутреннем кармане, образованном аминокислотными остатками.

Чистая линия (или клон) — потомки одной особи, размножающейся с помощью самооплодотворения, гомозиготные по большинству генов.

Эволюция — историческое изменение формы, организации и поведения живых существ в ряду поколений.

Эквационное деление — второе деление мейоза, когда происходит расхождение хроматид (как в митозе).

Экскременты — твердые и жидкие испражнения животных.

Эктодерма — наружный зародышевый листок у многоклеточных животных.

Энтодерма — внутренний зародышевый листок у многоклеточных животных.

Эритроцит — клетка крови, обеспечивающая транспорт кислорода.

Ядро — важная составляющая эукариотической клетки.

Яйцеклетка — женская половая клетка — гамета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биология: Большой справочник для школьников и поступающих в вузы. — М.: Дрофа, 1998.
2. Дмитриева Т. А., Кучменко В. С. и др. Биология: Сборник тестов, задач и заданий. 9—11 кл. — М.: Мнемозина, 1999.
3. Драгомилев В. Н., Маш Р. Д. Биология. VIII класс. Человек. — М.: Вентана-Граф, 1997.
4. Захаров В. Б., Сонин Н. И. Биология. Многообразие живых организмов. 7 класс. — М.: Дрофа, 1998.
5. Захаров В. Б., Мамонтов С. Г., Сонин Н. И. Общая биология. 10—11 кл. — М.: Дрофа, 2001.
6. Каменский А. А., Криксунов Е. А., Пасечник В. В. Введение в общую биологию и экологию. 9 класс. — М.: Дрофа, 2000.
7. Каменский А. А., Криксунов Е. А., Пасечник В. В. Общая биология. 10—11 классы. — М.: Дрофа, 2006.
8. Колесов Д. В. и др. Биология. Человек. 8 класс. — М.: Дрофа, 1997.
9. Латюшин В. В., Шапкин В. А. Животные. 7 класс. — М.: Дрофа, 2000.
10. Общая биология. 10—11 кл. / Д. К. Беляев, Н. Н. Воронцов, Г. М. Дымшиц и др. / Под ред. Д. К. Беляева. — М.: Просвещение, 1998—2002.
11. Общая биология. 10—11 кл. для шк. с углуб. изуч. биол./Под ред. А. О. Рувинского. — М.: Просвещение, 1997—2001.
12. Пасечник В. В. Биология. Бактерии. Грибы. Растения. 6 класс. — М.: Дрофа, 1997.
13. Пономарева И. Н. и др. Биология. 6 класс. Растения. Бактерии. Грибы. Лишайники. — М.: Вентана-Граф, 1999.
14. Пономарева И. Н., Корнилова О. А., Чернова Н. М. Основы общей биологии. 9 класс. — М.: Вентана-Граф, 2000.
15. Сонин Н. И. Биология. Живой организм. 6 класс. — М.: Дрофа, 1997.
16. Сонин Н. И., Сапин М. Р. Биология. Человек. 8 класс. — М.: Дрофа, 2000.
17. Хришкова А. Г., Колесов Д. В. Биология. Человек и его здоровье. 9 класс. — М.: Просвещение, 1997.
18. Пасечник В. В., Калинова Г. С., Суматохин С. В. Биология. 6 класс. Учебник для общеобразовательных учреждений. — М.: Просвещение, 2008.

СОДЕРЖАНИЕ

7. КЛЕТочный ЦИКЛ

§ 61. Митоз. Процессы, происходящие в клетке в различные фазы митоза	4
Лабораторная работа №7. Определение уровня митотической активности в клетках корешка лука	7
§ 62. Гаметогенез у животных. Гаметы. Стадии гаметогенеза	9
§ 63. Спорогенез и гаметогенез у растений	14
§ 64. Возникновение онкологических новообразований	17
§ 65. Факторы, способствующие возникновению предраковых состояний	21
§ 66. Старение. Теории о процессе старения	24
Вопросы и задания для обобщения и систематизации знаний по разделу	29

8. ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ И ИЗМЕНЧИВОСТИ

§ 67. Модификационная изменчивость	30
§ 68. Вариационные ряды изменчивости признаков	33
Лабораторная работа №8. Изучение модификационной изменчивости, построение вариационного ряда и кривой	36
§ 69. Цитологические основы наследования признаков	37
§ 70. Независимое распределение хромосом при дигибридном скрещивании	40
§ 71. Наследование, сцепленное с полом	43
§ 72. Множественный аллелизм. Решение задач	46
§ 73. Хромосомная теория наследственности	48
§ 74. Нарушение закономерностей наследования признаков в результате кроссинговера ...	51
§ 75. Взаимодействие аллельных и неаллельных генов	54
§ 76. Эпистаз. Комплементарность. Полимерия	57
§ 77. Теория мутации Хуго де Фриза. Спонтанные и индуцированные мутации	61
§ 78. Точечные, хромосомные, геномные, ядерные и цитоплазматические мутации	64
§ 79. Составление кариограммы хромосомного набора человека. Изучение геномных мутаций	68
Моделирование "Составление кариограммы хромосомного набора человека. Изучение геномных мутаций"	69
§ 80. Хромосомные заболевания человека, связанные с аномальным количеством хромосом	70
Вопросы и задания для обобщения и систематизации знаний по разделу	76

9. ЭВОЛЮЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ. ОСНОВЫ СЕЛЕКЦИИ.
РАЗНООБРАЗИЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

§ 81. Взаимосвязь между наследственной изменчивостью и эволюцией	77
§ 82. Наследственная изменчивость — основа эволюции	81
§ 83. Комбинативная изменчивость, мутации	83
§ 84. Естественный отбор. Борьба за существование	86
§ 85. Дрейф генов. Популяционные волны	89
§ 86. Доказательства эволюции. Сравнительно-анатомические. Эмбриологические. Палеонтологические	93
§ 87. Биogeографические, биохимические доказательства эволюции	99
§ 88. Этапы формирования жизни на Земле	102
§ 89. Филогенетические деревья. Кладограммы	105
§ 90. Понятие "Последний универсальный общий предок"	107
§ 91. Моделирование "Составление кладограмм"	109
§ 92. Различные формы филогенетических карт. Отличия кладограмм и филогенетических деревьев	111
§ 93. Эволюционное значение кладограмм и филогенетических деревьев	112
§ 94. Способы видообразования. Механизмы видообразования	116
§ 95. Изолирующие механизмы видообразования	119
§ 96. Роль репродуктивной изоляции в видообразовании. Полиплоидия и гибридизация	121
§ 97. Способы улучшения сельскохозяйственных растений и животных с помощью методов селекции	125
	253

§ 98. Гибридизация (скрещивание). Полиплоидия. Искусственный мутагенез	130
§ 99. Этапы антропогенеза. Протоантропы. Архантропы. Палеоантропы. Неоантропы ...	133
Вопросы и задания для обобщения и систематизации знаний по разделу	137
10. КООРДИНАЦИЯ И РЕГУЛЯЦИЯ	
§ 100. Строение нервных клеток	138
§ 101. Мембранный потенциал. Потенциал действия	142
§ 102. Инициация и трансмиссия потенциала действия. Передача импульса вдоль аксона нейрона	146
§ 103. Рефрактерный период и его роль	150
§ 104. Преимущества миелинизации нейронов	154
§ 105. Сравнение миелинизированных и немиелинизированных нейронов	157
§ 106. Строение центральной нервной системы (общий обзор)	160
§ 107. Строение и функции головного мозга	163
§ 108. Строение и функции спинного мозга	168
§ 109. Виды механорецепторов. Реакция механорецепторов на изменения раздражителей на примере телец Пачини	172
§ 110. Взаимосвязь строения и функций холинергического синапса. Механизм синаптической передачи на примере холинергического синапса	176
Вопросы и задания для обобщения и систематизации знаний по разделу	179
11. ДВИЖЕНИЕ	
§ 111. Строение поперечно-полосатой мышечной ткани. Структура миофибрилл (зоны, диски, саркомы, актин, миозин)	180
§ 112. Механизм сокращения мышечного волокна. Т-система мышечного волокна	184
§ 113. Строение, локализация и общие свойства быстрых и медленных мышечных волокон	188
§ 114. Типы скелетных мышечных тканей относительно актина	191
Вопросы и задания для обобщения и систематизации знаний по разделу	196
12. БИОМЕДИЦИНА И БИОИНФОРМАТИКА	
§ 115. Применение биомеханики в робототехнике. Биомеханика инженерная (экзоскелеты, робототехника)	198
§ 116. Биомеханика медицинская (протезирование). Биомеханика эргометрическая (оптимизация)	201
§ 117. Моделирование "Изучение биомеханики движения наземных живых организмов"	205
§ 118. Проводящая система сердца. Механизм автоматии сердца. Скорость проведения возбуждения в сердце. Сократимость сердечной мышцы	207
§ 119. Электрокардиография, ее диагностическое значение	211
§ 120. Моделирование "Исследование электрических процессов, протекающих в сердце"	213
Вопросы и задания для обобщения и систематизации знаний по разделу	215
13. БИОТЕХНОЛОГИЯ	
§ 121. Положительные и отрицательные стороны использования микроорганизмов в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, быту	216
§ 122. Применение полимеразной цепной реакции (ПЦР)	220
§ 123. Значение полимеразной цепной реакции в криминалистике, при установлении отцовства, медицинской диагностике, персонализированной медицине	224
§ 124. Значение полимеразной цепной реакции в клонировании генов, секвенировании ДНК, мутагенезе	227
§ 125. Этапы генно-инженерных манипуляций	230
§ 126. Значение генной инженерии	233
§ 127. Положительные и отрицательные стороны использования генетически модифицированных организмов	238
§ 128. Этические вопросы применения генетически модифицированных организмов ..	241
Вопросы и задания для обобщения и систематизации знаний по разделу	244
Толковый словарь	245
Литература	252

Учебное издание

**Очкур Елена Афанасьевна
Курмангалиева Жамал Жандосовна
Нуртаева Макпал Алпысбайкызы**

БИОЛОГИЯ

Часть 2

Учебник для 10 классов естественно-математического направления
общеобразовательных школ

Редактор *А. Сапаргалиева*
Спецредактор *Е. Швецова*
Художественный редактор *Л. Уралбаева*
Технический редактор *И. Таратунец*
Корректоры *С. Крафт, Е. Дремкова*
Компьютерная верстка *Н. Сейдахметовой*

Государственная лицензия № 0000001 выдана издательству
Министерством образования и науки Республики Казахстан 7 июля 2003 г.



ИБ № 5989

Подписано в печать 25.06.19. Формат 70x100 ¹/₁₆-
Бумага офсетная. Гарнитура "SchoolBook Kza". Печать офсетная.
Усл. печ. л. 20,64. Усл. кр.-отг. 83,21. Уч.-изд. л. 15,80.
Тираж 60 000 экз. Заказ №

Издательство "Мектеп", 050009, г. Алматы, пр. Абая, 143
Факс: 8(727) 394-37-58, 394-42-30
Тел.: 8(727) 394-41-76, 394-42-34
E-mail: mektep@mail.ru
Web-site: www.mektep.kz

