



1. Какие способы деления характерны для клеток прокариот? Для эукариотических клеток?

Амитоз, митоз, мейоз, простое деление надвое.

2. Что такое митоз? Охарактеризуйте фазы митоза.

3. В связи с чем дочерние клетки, образовавшиеся в результате митоза, получают одинаковую наследственную информацию? В чем заключается биологическое значение митоза?

4. Установите соответствие между соматическими клетками человека, находящимися в различных периодах интерфазы и митоза, и количеством хромосом и хроматид в этих клетках.

1)  $G_1$ -период

2)  $G_2$ -период

3) Профаза

4) Метафаза

5) У каждого полюса клетки в конце анафазы

6) В каждой дочерней клетке в конце телофазы

а) 23 хромосомы, 23 хроматиды

б) 23 хромосомы, 46 хроматид

в) 46 хромосом, 46 хроматид

г) 46 хромосом, 92 хроматиды

5\*. В чем заключаются различия между митозом и амитозом? Как вы думаете, почему митоз называют непрямым делением клетки, а амитоз — прямым?

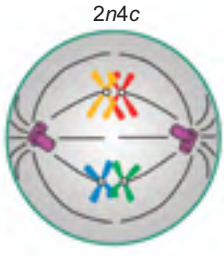
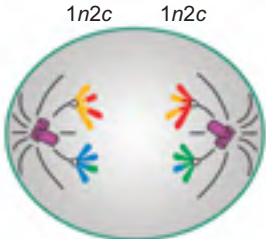
6\*. В ядре неделящейся клетки наследственный материал (ДНК) находится в виде аморфного рассредоточенного вещества — хроматина. Перед делением хроматин спирализуется и образует компактные структуры — хромосомы, а после деления возвращается в исходное состояние. Для чего клетки совершают такие сложные видоизменения своего наследственного материала?

## § 18. Мейоз

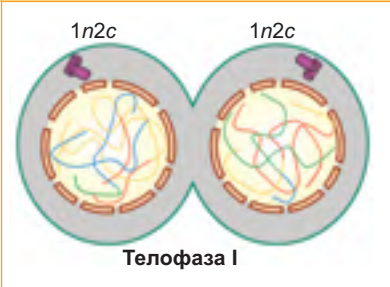
**Мейоз** — особый способ деления эукариотических клеток, в результате которого из одной материнской клетки образуются *четыре дочерние с уменьшенным в 2 раза набором хромосом*. Если в мейоз вступает диплоидная клетка ( $2n4c$ ), то образуются четыре гаплоидные клетки ( $1n1c$ ). Клетки с гаплоидным набором хромосом не способны делиться мейозом.

Мейоз представляет собой два последовательных деления — мейоз I и мейоз II. Важно отметить, что репликация ДНК предшествует только первому мейотическому делению. Между мейозом I и мейозом II удвоения ДНК не происходит. Каждое из двух делений обычно включает профазу, метафазу, анафазу и телофазу. Рассмотрим процесс мейотического деления диплоидной клетки. Первое деление мейоза осуществляется следующим образом (табл. 10, с. 96).

Таблица 10. Первое деление мейоза (мейоз I)

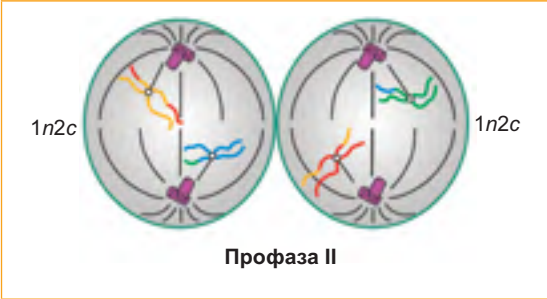
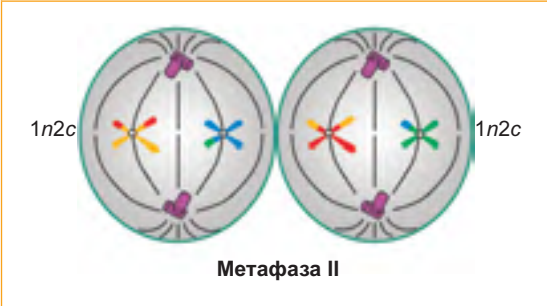
Схема	Фаза и процессы, происходящие в ней
 <p>2n4c Центриоли Ядерная оболочка Хромосомы</p> <p><b>Профаза I</b></p>	<p><b>Профаза I.</b> В ядре начинается спирализация хроматина. Постепенно формируются двуххроматидные хромосомы. Набор хромосом и хроматид в клетке выражается записью <math>2n4c</math>. Гомологичные хромосомы попарно сближаются и соединяются друг с другом. Этот процесс называется <i>конъюгацией</i> гомологичных хромосом. Между хроматидами гомологичных хромосом может происходить обмен соответствующими участками — <i>кроссинговер</i>. Одновременно с этим в клетке начинается образование веретена деления. К концу профазы I исчезают ядрышки и распадается ядерная оболочка</p>
 <p>2n4c</p> <p><b>Метафаза I</b></p>	<p><b>Метафаза I.</b> Завершается формирование веретена деления. Спирализация хромосом достигает максимума. Пары гомологичных хромосом, соединенных друг с другом, располагаются в центральной части клетки. При этом нити веретена деления, идущие от противоположных полюсов клетки, прикреплены к центромерам разных гомологичных хромосом. Таким образом, в каждой паре одна из хромосом оказывается связанной с одним полюсом клетки, а другая — с противоположным</p>
 <p>1n2c 1n2c</p> <p><b>Анафаза I</b></p>	<p><b>Анафаза I.</b> В отличие от митоза центромеры хромосом не разделяются надвое. Поэтому нити веретена деления растягивают к противоположным полюсам клетки не сестринские хроматиды, как при митозе, а гомологичные хромосомы. Следовательно, диплоидный набор <math>2n4c</math> разделяется на два гаплоидных набора, которые впоследствии попадут в разные дочерние клетки. Каждая хромосома состоит из двух хроматид, которые в результате кроссинговера уже не идентичны друг другу. Таким образом, в конце анафазы I набор хромосом и хроматид у каждого полюса делящейся клетки составляет <math>1n2c</math></p>

Продолжение

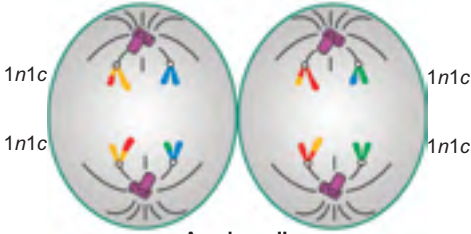
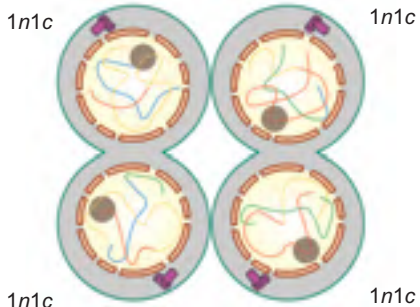
Схема	Фаза и процессы, происходящие в ней
 <p style="text-align: center;">Телофаза I</p>	<p><b>Телофаза I.</b> Веретено деления разрушается. Происходит деспирализация хромосом и формирование двух ядер. Далее клетка разделяется на две дочерние. Они имеют гаплоидный набор хромосом, каждая хромосома состоит из двух хроматид (<math>1n2c</math>)</p>

Промежуток времени между первым и вторым делениями мейоза обычно очень короткий. В этот период, как уже отмечалось, не осуществляется репликация ДНК. Каждая из двух клеток, образовавшихся в результате мейоза I, вступает в мейоз II. Это деление протекает аналогично митозу (табл. 11).

Таблица 11. Второе деление мейоза (мейоз II)

Схема	Фаза и процессы, происходящие в ней
 <p style="text-align: center;">Профаза II</p>	<p><b>Профаза II.</b> В результате спирализации хроматина формируются двуххроматидные хромосомы (набор <math>1n2c</math>). В это же время начинается образование веретена деления. После распада ядерной оболочки отдельные хромосомы беспорядочно располагаются в гиалоплазме</p>
 <p style="text-align: center;">Метафаза II</p>	<p><b>Метафаза II.</b> Завершается формирование веретена деления. Хромосомы, достигшие максимальной спирализации, выстраиваются в центральной части клетки. Нити веретена деления связывают центромеру каждой хромосомы с двумя противоположными полюсами</p>

Продолжение

Схема	Фаза и процессы, происходящие в ней
 <p style="text-align: center;"><b>Анафаза II</b></p>	<p><b>Анафаза II.</b> Происходит разделение центромер. Сестринские хроматиды (теперь уже дочерние хромосомы) растягиваются к разным полюсам клетки. В конце анафазы II набор хромосом и хроматид у каждого полюса составляет <math>1n1c</math></p>
 <p style="text-align: center;"><b>Телофаза II</b></p>	<p><b>Телофаза II.</b> Хромосомы деспирализуются, формируются ядра, и происходит разделение клеток. При этом образуются четыре дочерние клетки, имеющие набор <math>1n1c</math></p>

Таким образом, в результате первого деления мейоза исходная материнская клетка ( $2n4c$ ) разделилась на две дочерние. Набор хромосом в этих клетках уже уменьшился вдвое, однако каждая хромосома все еще представлена двумя хроматидами ( $1n2c$ ). Второе деление, протекающее по типу митоза, сопровождается расхождением сестринских хроматид. Поэтому итогом второго деления является образование четырех гаплоидных клеток с однохроматидными хромосомами ( $1n1c$ ).



Мейоз — более длительный процесс, чем митоз. Например, у ржи он протекает более 2 сут, у репчатого лука — около 4 сут. Мейотическое деление клеток мыши занимает примерно неделю. Мейоз, протекающий при образовании сперматозоидов человека, длится приблизительно 25 дней. Самой продолжительной стадией мейоза является профазы I.

**Биологическое значение мейоза.** У животных и человека путем мейоза образуются гаметы — гаплоидные половые клетки. В результате последующего оплодотворения формируется зигота с двойным набором хромосом, из которой развивается новый организм. Он является диплоидным, как и его родители, а значит, сохраняет свойственный данному виду организмов

кариотип. Без мейоза, приводящего к уменьшению набора хромосом в 2 раза, половое размножение сопровождалось бы удвоением числа хромосом в каждом новом поколении. У растений, многих водорослей и грибов мейоз приводит к формированию спор, с помощью которых осуществляется бесполое размножение.

Кроссинговер, происходящий в профазе I, приводит к рекомбинации наследственного материала между гомологичными хромосомами. В анафазе I гомологичные хромосомы каждой пары случайным образом, независимо от других пар, расходятся к разным полюсам клетки. В анафазе II то же самое происходит с сестринскими хроматидами. Все эти процессы являются важными источниками *комбинативной изменчивости* (будет рассмотрена подробно в главе 6), обеспечивающей появление разнообразного потомства как при половом размножении, так и при размножении спорами.

**Место мейоза и оплодотворения в жизненном цикле организмов.** Большинству видов эукариотических организмов свойственно половое размножение. При этом в жизненном цикле происходит чередование гаплоидных ( $1n$ ) и диплоидных ( $2n$ ) стадий развития — *смена ядерных фаз*.

Ключевую роль в смене ядерных фаз играют такие процессы, как *мейоз* и *оплодотворение*. Благодаря мейозу осуществляется переход из диплоидной фазы в гаплоидную. Восстановление диплоидного набора хромосом происходит в результате оплодотворения. В циклах развития длительность гаплоидной и диплоидной фаз у разных групп организмов может существенно различаться.

Например, у некоторых водорослей (хламидомонада и др.) и многих грибов все стадии жизненного цикла гаплоидны, за исключением зиготы (рис. 51, а). Первое деление диплоидной



Рис. 51. Схемы жизненных циклов с различной продолжительностью гаплоидной и диплоидной фаз: а — цикл развития хламидомонады; б — млекопитающего; в — папоротника. М — мейоз, О — оплодотворение

зиготы, возникшей в результате оплодотворения, осуществляется путем мейоза. Из образовавшихся гаплоидных клеток — спор — развиваются организмы, имеющие набор хромосом  $1n$ . Образование гамет у таких организмов происходит за счет митоза. Далее гаметы попарно сливаются, в зиготе восстанавливается диплоидный набор хромосом, и цикл замыкается.

Для животных, наоборот, характерен жизненный цикл, в котором все стадии развития диплоидны, и лишь половые клетки имеют гаплоидный набор хромосом (рис. 51, б). Мейоз у животных непосредственно предшествует образованию гамет. Гаметы вскоре сливаются, и из зиготы развивается особь с диплоидным набором хромосом.

У растений в цикле развития закономерно сменяют друг друга два поколения организмов: гаплоидное — *гаметофит* и диплоидное — *спорофит* (рис. 51, в). Гаметофит — это половое поколение, образующее гаметы путем митоза. После оплодотворения из зиготы, имеющей двойной набор хромосом, развивается диплоидный спорофит — бесполое поколение. Спорофит путем мейоза формирует споры, имеющие набор  $1n$ . Из этих спор далее развиваются гаплоидные гаметофиты.

Диплоидный набор хромосом в сравнении с гаплоидным обеспечивает более надежное сохранение наследственной информации. Из курса биологии 10-го класса вы знаете, что организмы, имеющие двойной набор хромосом, способны лучше адаптироваться к меняющимся условиям среды, чем гаплоидные. Поэтому в процессе эволюции, при переходе от примитивных форм жизни к более совершенным, степень развития гаплоидной фазы и ее продолжительность в жизненном цикле организмов уменьшалась, а диплоидной, наоборот, возрастала.



Мейоз — особый способ деления клеток эукариот, в результате которого из одной материнской клетки образуются четыре дочерние с уменьшенным в 2 раза набором хромосом. Мейоз препятствует удвоению числа хромосом при половом размножении. Кроссинговер, протекающий в профазе I, независимое расхождение гомологичных хромосом в анафазе I и сестринских хроматид в анафазе II служат важными источниками комбинативной изменчивости организмов. Мейоз и оплодотворение обеспечивают смену ядерных фаз в жизненном цикле организмов, которым свойственно половое размножение.



1. Сколько дочерних клеток и с каким набором хромосом образуется из одной диплоидной клетки в результате: а) митоза; б) мейоза?

Две гаплоидные, две диплоидные, четыре гаплоидные, четыре диплоидные.

2. Что представляет собой конъюгация хромосом? В какой фазе мейоза происходит кроссинговер? Какое значение имеет этот процесс?

3. Какие события, протекающие в мейозе, обеспечивают уменьшение вдвое набора хромосом в дочерних клетках?
4. В чем заключается биологическое значение мейоза?
- 5\*. Сравните митоз и мейоз, выявите черты сходства и различия. В чем заключается главное отличие мейоза от митоза?
- 6\*. Как вы считаете, почему мейоз характерен только для тех видов живых организмов, которым свойственно половое размножение? Какую роль в жизненном цикле этих организмов играет процесс оплодотворения?

## § 19. Строение и образование половых клеток

Как уже отмечалось, большая часть видов эукариот обладает способностью к половому размножению. Вам также известно, что специализированные клетки, обеспечивающие половое размножение организмов, называются **половыми клетками** или **гаметами**. Их слияние (за исключением случаев партеногенеза) приводит к образованию зиготы, из которой в дальнейшем развивается новая особь.

Для большинства организмов, кроме некоторых протистов и грибов, характерно образование гамет двух типов — мужских и женских. Они существенно отличаются по размерам, строению и физиологическим свойствам. Мужские половые клетки обычно значительно меньше женских и обладают подвижностью — это *сперматозоиды*. У семенных растений мужские гаметы — *спермии* — неподвижны. Женские половые клетки называются *яйцеклетками*.

**Гаметогенез** — процесс образования половых клеток — у многоклеточных организмов, как правило, протекает в специальных органах. Например, у животных, за исключением самых примитивных (например, кишечнополостных), гаметогенез осуществляется в половых железах. Мужские половые железы называются *семенниками*, женские — *яичниками*.

**Строение половых клеток.** Рассмотрим особенности строения гамет на примере типичных половых клеток животных — сперматозоида и яйцеклетки.

**Сперматозоиды** животных обычно состоят из головки, шейки, средней части и жгутика (хвоста), обеспечивающего активное передвижение (рис. 52). В головке

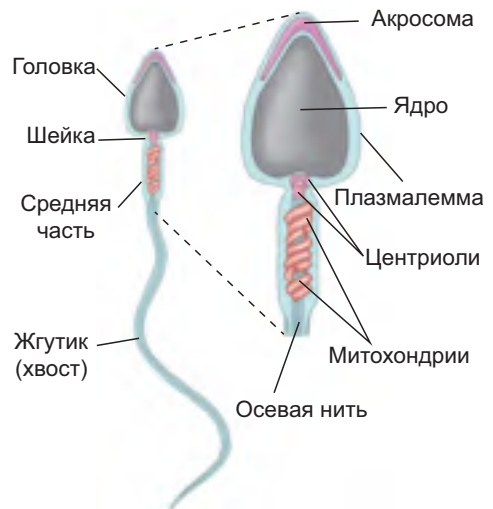


Рис. 52. Схема строения сперматозоида