



Прокариотами являются бактерии. Их клетки не имеют ядра и мембранных органоидов. Каждая прокариотическая клетка ограничена цитоплазматической мембраной и клеточной стенкой. Для клеток некоторых прокариот характерно наличие слизистой капсулы, ворсинок и органоидов движения — жгутиков. Непосредственно в цитоплазме прокариотической клетки расположена кольцевая молекула ДНК — бактериальная хромосома. В клетках большинства бактерий имеются также небольшие кольцевые молекулы ДНК — плазмиды. Клетки всех прокариот содержат рибосомы.

К эукариотам относятся представители четырех царств: Растения, Животные, Грибы и Протисты. Их клетки устроены сходным образом: они имеют ядро и цитоплазму с различными мембранными и немембранными органоидами. Однако между клетками организмов разных царств имеются отличия, связанные с особенностями строения поверхностного аппарата, наличием или отсутствием вакуолей, пластид и центриолей. В разных эукариотических клетках запасаются различные резервные углеводы.



1. Какие из перечисленных структур имеются в бактериальной клетке?

Цитоплазматическая мембрана, ядро, цитоплазма, мембранные органоиды, немембранные органоиды.

2. Каково строение поверхностного аппарата клеток прокариот? Какие функции выполняют слизистые капсулы? Ворсинки? Жгутики?

3. Что представляет собой бактериальная хромосома? Плазмиды?

4. Каково строение клеточной стенки растений? Чем отличаются животная и растительная клетки?

5. Каковы особенности строения клеток протистов?

6\*. Сравните клетки бактерий, протистов, грибов, растений и животных по различным критериям. Укажите черты сходства и различия между ними.

7\*. Сравните строение двумембранных органоидов (митохондрий, хлоропластов) и бактериальных клеток. Какие черты сходства обнаруживаются? Чем они могут объясняться?

8\*. В клетках прокариот отсутствуют мембранные органоиды, например митохондрии, пластиды, комплекс Гольджи, эндоплазматическая сеть. Как вы думаете, как прокариотические клетки могут функционировать без этих органоидов? Почему прокариоты не могут «обойтись» без рибосом?

## § 16. Клеточный цикл. Репликация ДНК

**Клеточный цикл.** Все новые клетки образуются путем деления уже существующих. Этот принцип, как уже отмечалось, сформулировал Р. Вирхов еще в середине XIX в. Деление клеток обеспечивает непрерывность существования жизни на нашей планете. Именно благодаря ему

осуществляются различные способы бесполого и полового размножения организмов. В основе процессов роста, регенерации и индивидуального развития многоклеточных организмов также лежит деление клеток.

Период существования клетки от момента ее образования из материнской клетки до собственного деления (включая это деление) или гибели называется **клеточным циклом**.

Продолжительность клеточного цикла у разных организмов и различных клеток в составе одного организма варьирует. Так, у бактерий в благоприятных условиях он длится примерно 20 мин. Короткие клеточные циклы (30—60 мин) характерны для бластомеров рыб и земноводных на этапе дробления, в то время как у млекопитающих промежуток времени между делениями бластомеров может достигать 10 ч и более. У взрослых мышей клетки кишечного эпителия делятся каждые 11—22 ч, а роговицы глаза — приблизительно один раз в трое суток. Для регулярно делящихся клеток многоклеточных организмов длительность клеточного цикла обычно составляет 12—36 ч.

Клеточный цикл состоит из интерфазы и деления клетки (рис. 49). **Интерфаза** — это часть клеточного цикла между двумя последовательными делениями. Как правило, она занимает больше времени, чем само деление. Рассмотрим основные периоды интерфазы на примере эукариотической клетки.

**Пресинтетический, или  $G_1$ -период** (от англ. *gap* — промежуток), начинается с момента образования новой клетки в результате деления материнской. Обычно это самый длительный период интерфазы и клеточного цикла в целом. В течение  $G_1$ -периода молодая клетка интенсивно растет, в ней увеличивается количество органоидов и синтезируются различные соединения, необходимые для протекания процессов жизнедеятельности. В том числе образуются вещества, которые будут нужны для последующего удвоения молекул ДНК.

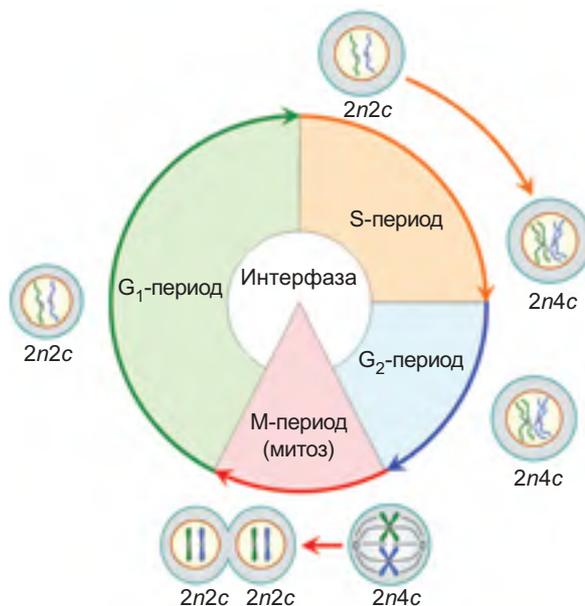


Рис. 49. Основные периоды клеточного цикла

Вы уже знаете, что набор хромосом обозначают как  $n$ : например,  $1n$  — гаплоидный набор,  $2n$  — диплоидный. Набор молекул ДНК в клетках принято записывать с помощью буквы  $c$ . Из § 14 вам известно, что каждая хроматида содержит одну молекулу ДНК, т. е. количество молекул ДНК и хроматид в составе хромосом всегда совпадает. Таким образом, записи типа  $1c$ ,  $2c$ ,  $4c$  отражают содержание в клетках не только молекул ДНК, но и соответствующих хроматид.

В пресинтетическом периоде каждая хромосома состоит из одной хроматиды. Следовательно, в  $G_1$ -периоде число хромосом ( $n$ ) и хроматид ( $c$ ) в клетке одинаковое. Набор хромосом и хроматид диплоидной клетки в  $G_1$ -периоде клеточного цикла можно выразить записью  $2n2c$ .

В синтетическом, или **S-периоде** (от англ. *synthesis* — синтез), происходит удвоение молекул ДНК — **репликация**, а также удвоение центриолей клеточного центра (в тех клетках, где он имеется). После завершения репликации каждая хромосома состоит уже из двух идентичных сестринских хроматид, которые соединены друг с другом в области центромеры. Количество хроматид в каждой паре гомологичных хромосом становится равным четырем. Таким образом, набор хромосом и хроматид диплоидной клетки в конце S-периода (т. е. после репликации) выражается записью  $2n4c$ .

**Постсинтетический**, или  **$G_2$ -период**, продолжается от окончания синтеза ДНК (репликации) до начала деления клетки. В это время клетка активно запасает энергию и синтезирует белки для предстоящего деления (например, белок *тубулин* для построения микротрубочек, образующих впоследствии веретено деления). В течение всего  $G_2$ -периода набор хромосом и хроматид в клетке остается неизменным —  $2n4c$ .

Итак, интерфаза обычно включает три периода: пресинтетический ( $G_1$ ), синтетический (S) и постсинтетический ( $G_2$ ) (табл. 8). На протяжении всей интерфазы хромосомы не спирализованы. Они располагаются в ядре клетки в виде хроматина.

После завершения интерфазы начинается деление клетки. Основным способом деления клеток эукариот является **митоз**, поэтому данный этап клеточного цикла обозначают как **M-период**. При митозе происходит спирализация хроматина. Это приводит к формированию компактных двуххроматидных хромосом. После этого сестринские хроматиды каждой хромосомы отделяются друг от друга и затем попадают в разные дочерние клетки. Значит, дочерние клетки, образовавшиеся в результате митоза и вступающие в новый клеточный цикл, имеют набор  $2n2c$ .

Таблица 8. Основные периоды клеточного цикла

Период		Содержание наследственного материала в диплоидной клетке	Краткая характеристика
Интерфаза	Пресинтетический ( $G_1$ )	$2n2c$	Рост клетки, образование органоидов, подготовка к репликации
	Синтетический (S)	$2n2c$ (в начале) → → $2n4c$ (в конце)	Репликация ДНК, удвоение центриолей клеточного центра
	Постсинтетический ( $G_2$ )	$2n4c$	Завершение подготовки к делению
Митоз (M)		$2n4c$ (в материнской клетке) → → $2n2c$ (в каждой дочерней клетке)	Деление клетки на две дочерние

Некоторые клетки многоклеточных организмов, образовавшиеся при митозе, проходят далее  $G_1$ -, S- и  $G_2$ -периоды интерфазы и снова вступают в митоз. Это характерно, например, для клеток покровных эпителиев (росткового слоя эпидермиса кожи, эпителия желудочно-кишечного тракта и др.), красного костного мозга, образовательных тканей растений.

В отличие от них многие клетки после прохождения части  $G_1$ -периода вступают в так называемый **период покоя**, или  **$G_0$ -период**. Клетки, находящиеся в  $G_0$ -периоде, выполняют свои функции в организме, однако в них не происходит подготовка к репликации. Это свойственно, прежде всего, высокоспециализированным клеткам — нейронам, клеткам сердечной мышцы, хрусталика глаза и др. Такие клетки, как правило, навсегда утрачивают способность к делению.

Однако некоторые клетки, пребывающие в  $G_0$ -периоде (например, клетки печени, эндокринных желез, лейкоциты), сохраняют способность к выходу из периода покоя, продолжению клеточного цикла и последующему делению. Такое явление наблюдается, например, при повреждении органа, в состав которого данные клетки входят.

**Репликация ДНК.** Вспомним, что удвоение молекул ДНК, которое осуществляется в синтетическом (S) периоде клеточного цикла, называется **репликацией**. В осуществлении репликации ДНК принимает участие целый комплекс ферментов. Сначала с помощью особых ферментов происходит раскручивание исходной материнской молекулы ДНК и разъединение двух ее цепей за счет разрыва водородных связей между комплементарными азотистыми основаниями.

После этого с разошедшимися цепями связываются молекулы *ДНК-полимеразы* — главного фермента репликации. Молекулы ДНК-полимеразы начинают двигаться вдоль материнских цепей, используя их в качестве матриц для построения из нуклеотидов новых дочерних цепей (рис. 50). При этом нуклеотиды включаются в растущие дочерние цепи ДНК по принципу комплементарности. Например, если участок материнской цепи ДНК содержит последовательность нуклеотидов ГТАЦАГ, то в соответствующем ему участке дочерней цепи нуклеотиды будут располагаться следующим образом: ЦАТГТЦ. В связи с этим репликацию относят к **реакциям матричного синтеза**.

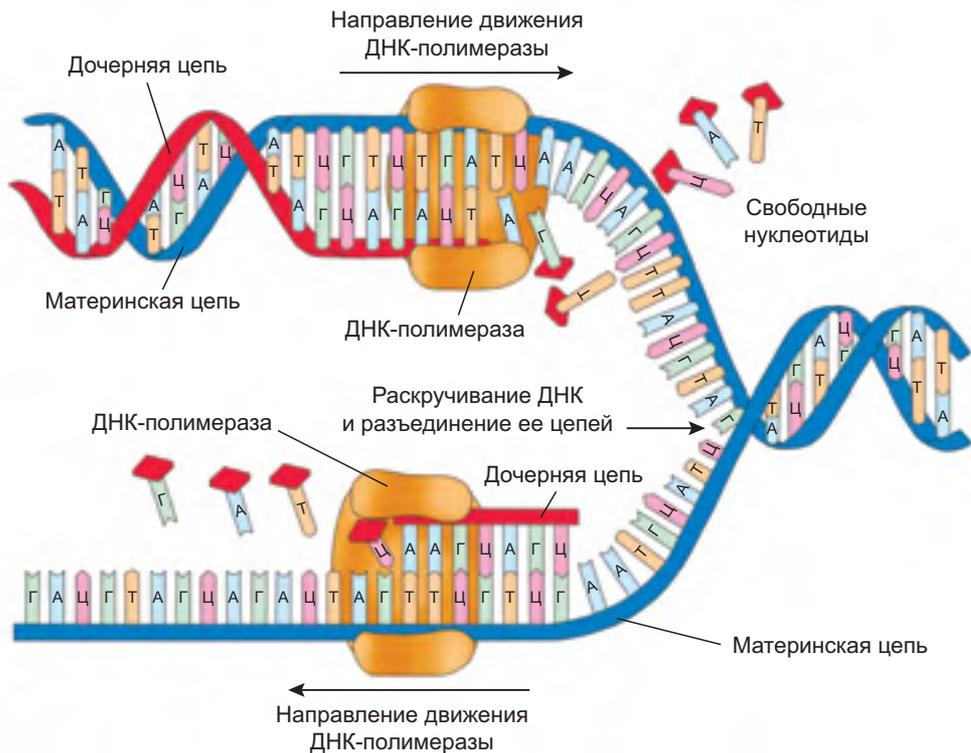


Рис. 50. Схема процесса репликации ДНК

В результате репликации образуются две молекулы ДНК, идентичные друг другу и исходной материнской молекуле. В состав каждой из них входит одна цепь материнской молекулы ДНК и одна вновь синтезированная дочерняя цепь.



Период жизни клетки с момента ее образования из материнской клетки до деления (включая это деление) или гибели называется клеточным циклом. Он состоит из интерфазы и деления клетки. Интерфаза (часть клеточного цикла между делениями) обычно включает три периода. В  $G_1$ -периоде клетка растет и готовится к репликации, в S-периоде происходит репликация, в  $G_2$ -периоде завершается подготовка к делению. Репликация ДНК происходит с участием разных ферментов, важнейшим из которых является ДНК-полимераза. Матрицами для синтеза дочерних цепей ДНК служат обе цепи материнской молекулы, т. е. репликация является реакцией матричного синтеза. В результате репликации образуются две идентичные молекулы ДНК. В состав каждой из них входит одна цепь исходной материнской молекулы и одна вновь синтезированная дочерняя цепь.



1. Что такое клеточный цикл?
2. Охарактеризуйте основные периоды клеточного цикла по плану: 1) название и сокращенное обозначение; 2) происходящие процессы; 3) содержание генетического материала в клетке.
3. Что представляет собой  $G_0$ -период? Какие клетки в него вступают? Все ли клетки, вступающие в период покоя, навсегда утрачивают способность к делению? Ответ поясните.
4. Что такое репликация ДНК? Каким образом осуществляется этот процесс?
5. Почему репликацию ДНК относят к реакциям матричного синтеза?
- 6\*. Одинаковы ли молекулы ДНК, входящие в состав гомологичных хромосом? В состав сестринских хроматид? Почему?
- 7\*. В многоклеточных организмах имеются так называемые стволовые клетки. Они являются первичными клетками, из которых в начале эмбрионального развития формируются органы зародыша, и на протяжении всей жизни сохраняют способность к делению. Раньше считалось, что стволовые клетки есть только у эмбрионов, теперь же они выявлены почти во всех органах взрослых людей. В 1999 г. журнал «Science» признал открытие стволовых клеток важнейшим научным событием в биологии. Каковы перспективы использования стволовых клеток?

## § 17. Митоз. Амитоз

Как вы знаете, бактерии размножаются путем простого деления надвое. Перед этим происходит репликация единственной бактериальной хромосомы — кольцевой молекулы ДНК. В результате последующего деления в каждой из двух дочерних клеток оказывается по одной хромосоме.

Эукариотические клетки, в отличие от прокариотических, имеют более сложную организацию. Поэтому для них характерны другие способы деления: митоз, амитоз, мейоз.

