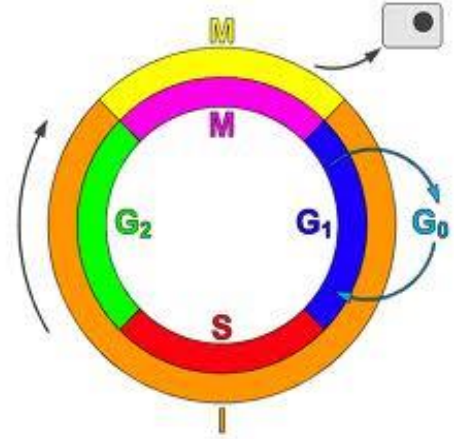


**Закономерности
существования клетки во
времени.**

**Воспроизведение на
клеточном уровне: митоз и
мейоз.**



Понятие жизненного и митотического цикла

Жизненный цикл клетки (клеточный цикл) - совокупность процессов, происходящих от момента образования клетки путем деления материнской до собственного деления клетки или ее гибели.

Митотический цикл - совокупность процессов, происходящих в клетке при подготовке ее к делению и во время деления. Митотический цикл – это часть жизненного цикла



Жизненный цикл

В жизненном цикле клетки различают несколько фаз:

- **Фаза деления** соответствует митотическому делению
- **Фаза роста** наступает вслед за делением. В это время клетка растет, увеличивая свой объем и достигая определенных размеров.
- **Фаза покоя** – период, во время которого дальнейшая судьба клетки не определена: она может начать подготовку к делению или встать на путь специализации. Эта фаза присутствует не всегда.
- **Фаза дифференциации (специализации)** наступает после окончания фазы роста. В это время клетка приобретает определенные структурные и функциональные особенности.
- **Фаза зрелости** – период функционирования клетки, выполнения тех или иных функций в зависимости от специализации.
- **Фаза старения** – период, характеризующийся ослаблением жизненных функций клетки и заканчивающийся ее делением или гибелью.

Митотический цикл

В типичном митотическом цикле эукариотических клеток выделяют **интерфазу** и **митотическое деление (митоз)**.

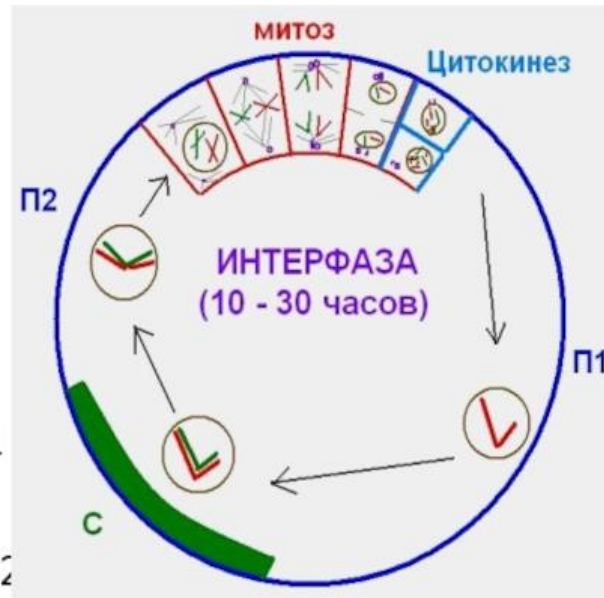
Непосредственно на деление клетки уходит обычно 1-3 часа, т.е. основную часть жизни клетка находится в интерфазе.

Митоз (1-3 часа)

- Кариокинез
- Цитокинез

Интерфаза (10-30 ч)

- Пресинтетический G1
- Синтетический S
- Постсинтетический G2



Интерфаза

Интерфазой называют промежуток между двумя клеточными делениями. Ее продолжительность составляет до 90% всего клеточного цикла.

Интерфаза включает три периода:

- пресинтетический, или постмитотический - G_1 ($2n2c$)
- синтетический – S ($2n4c$)
- постсинтетический, или премитотический - G_2 ($2n4c$)

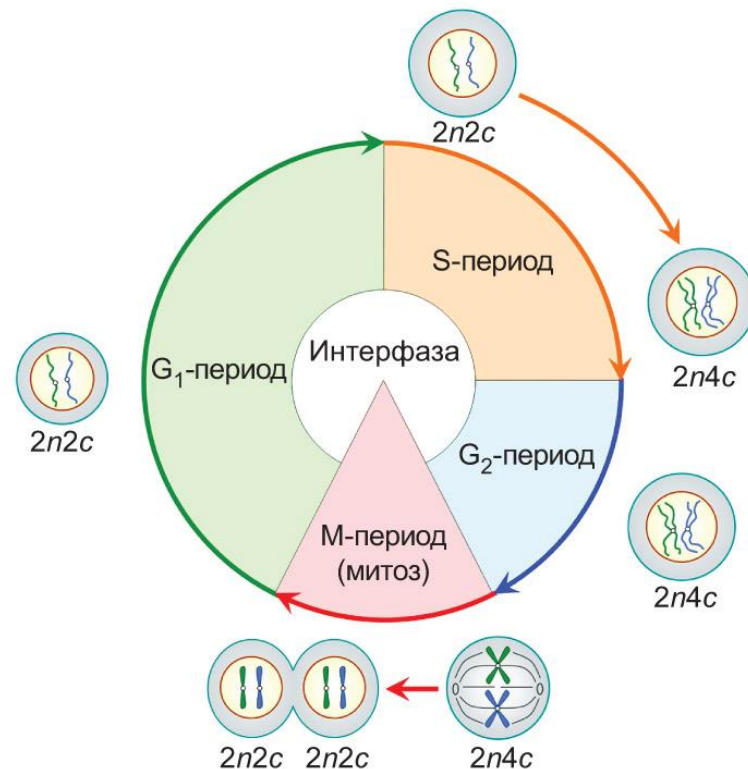


Рис. 16.1. Основные периоды клеточного цикла

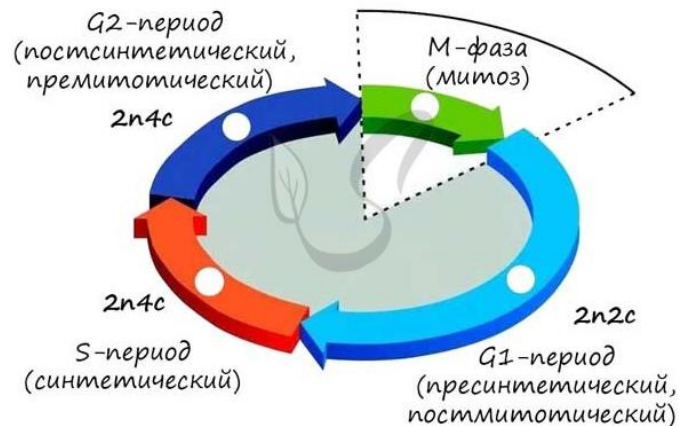
Пресинтетический период G1

Начальный отрезок интерфазы – пресинтетический период - начинается непосредственно после митоза. **Это наиболее длительный период, продолжительность которого в клетках составляет от 10 часов до нескольких суток.**

Характеризуется следующими процессами:

- *завершается формирование ядрышка;*
- *в цитоплазме активно идет синтез белка, что приводит к увеличению массы клетки, клетка растет;*
- *активно протекают процессы метаболизма;*
- *накапливается ДНК и белки, необходимые для образования клеточных структур;*
- *синтезируются ферменты, катализирующие реакцию репликации, синтезируется белок, включающий эту реакцию.*

Таким образом, в пресинтетический период осуществляются процессы подготовки следующего периода интерфазы – синтетического. **В этот период клетка имеет диплоидный набор хромосом, каждая из которых содержит одну молекулу ДНК ($2n2c$).**

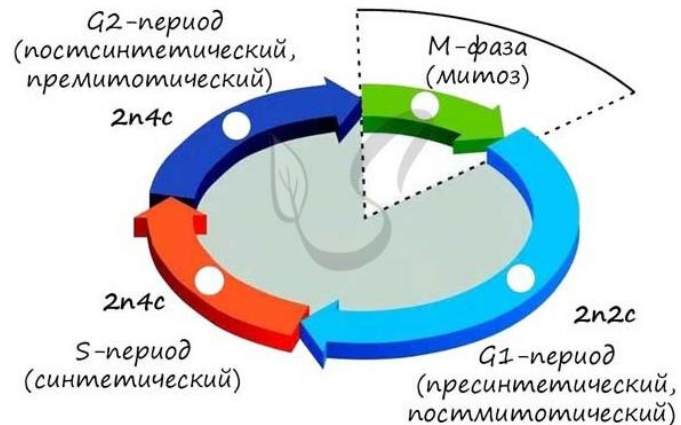


Синтетический период S

Его продолжительность различна: **от нескольких минут у бактерий до 6-12 часов** в клетках млекопитающих. Происходит:

- **репликация (удвоение ДНК);**
- **продолжается синтез РНК и белков, начавшийся в пресинтетическом периоде G1;**
- **интенсивно синтезируются белки-гистоны в цитоплазме, происходит их перемещение в ядро, где они связываются с вновь синтезированной ДНК;**
- **идет синтез р-РНК, которая используется уже в следующем G2 периоде;**
- **удваиваются центриоли.**

Во время синтетического периода происходит самое главное событие интерфазы – удвоение молекул ДНК. **Каждая хромосома становится двуххроматидной, а число хромосом не изменяется (2n4c).**



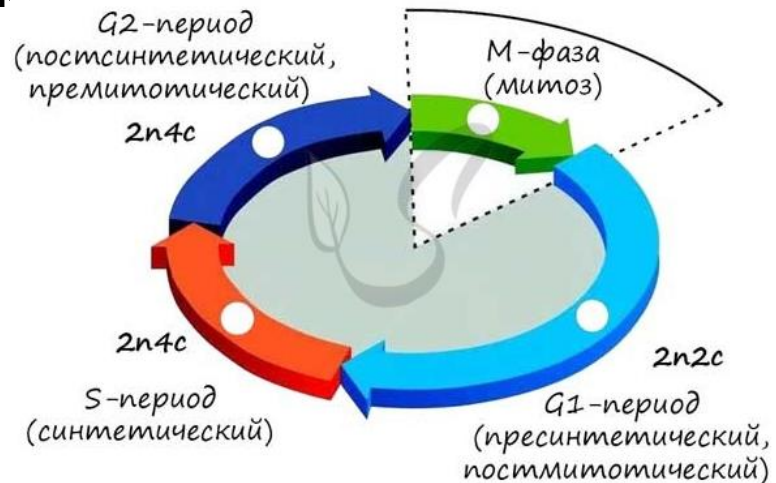
Постсинтетический период G2

Этот период обеспечивает подготовку клетки к делению, а также характеризуется интенсивными процессами синтеза. В этот период:

- *продолжается синтез белков, входящих в состав хромосом;*
- *синтезируются ферменты и энергетические вещества, необходимые для обеспечения процессов деления клетки;*
- *начинается спирализация хромосом;*
- *синтезируются белки, необходимые для построения митотического веретена;*
- *увеличивается масса цитоплазмы и резко возрастает объем ядра.*

Клетка в этот период содержит диплоидный набор двуххроматидных хромосом ($2n4c$).

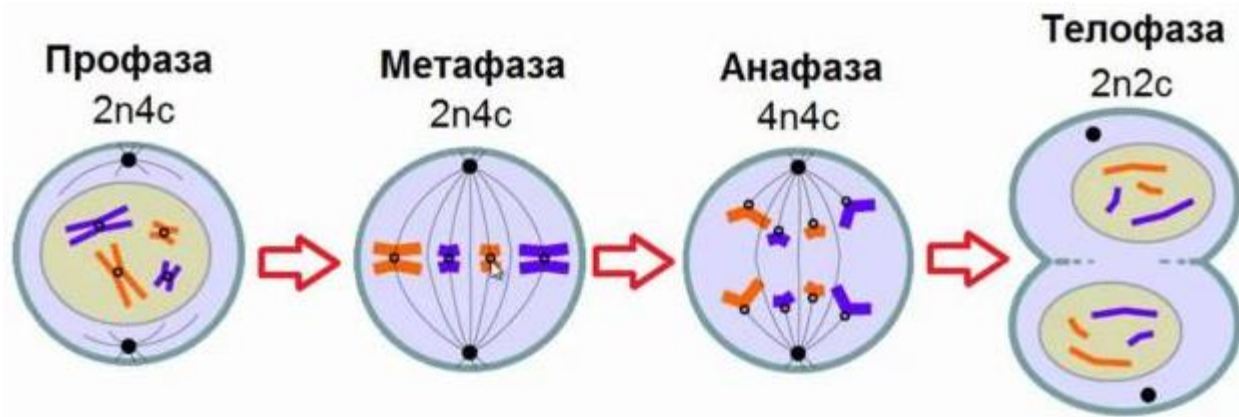
Постсинтетический период обычно **занимает 3-6 часов**, после чего клетка переходит к митозу.



Митоз

Митоз (от греч. *mitos* - нить) - это не прямое деление соматических клеток, представляющее собой непрерывный процесс, в результате которого сначала происходит удвоение, а затем равномерное распределение генетического материала между двумя дочерними клетками, каждая из которых получает диплоидный набор хромосом, идентичный исходной клетке.

Митоз занимает около 10% времени всего клеточного цикла.



МИТОЗ

Митоз включает в себя два процесса:

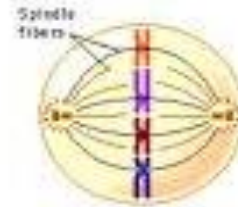
- I. Кариокинез – деление ядра
- II. Цитокинез – разделение цитоплазмы

Стадии кариокинеза:

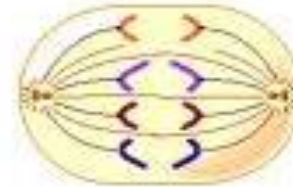
1. Профаза
2. Метафаза
3. Анафаза
4. Телофаза



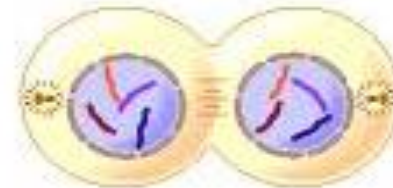
профаза



метафаза



анафаза



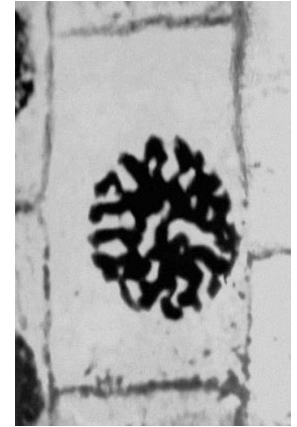
телофаза

Профаза (2n4c)

Это первая фаза деления ядра, во время которой происходят следующие процессы: распад ядерной оболочки на мелкие мембранные пузырьки, нарушение стабильности цитоскелета, наблюдается временная фрагментация ЭПС и аппарата Гольджи. **Хроматин начинает скручиваться (спирализоваться), вследствие чего формируются хромосомы.** В поздней профазе хорошо видно, что каждая хромосома состоит из двух хроматид, соединенных центромерой. Хромосомный набор диплоидный (2n), а количество ДНК - 4с.

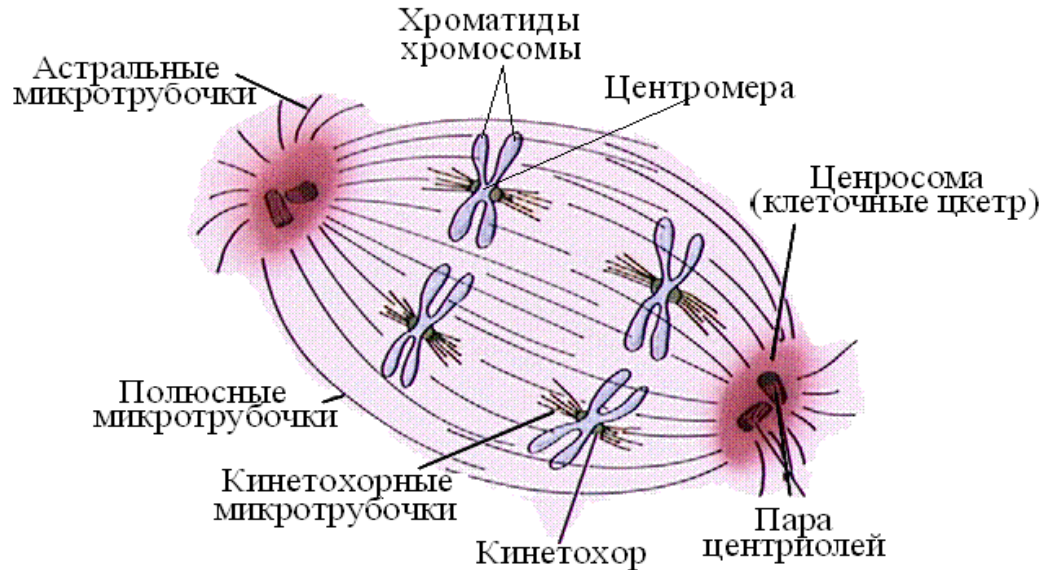
В поздней профазе формируется веретено деления. Оно образуется либо с участием centrioles (в клетках животных и некоторых низших растений), либо без них (в клетках высших растений и некоторых простейших). К концу профазы centrioles расходятся к полюсам клетки. Образуется веретено деления из двух типов микротрубочек: астральных и полюсных.

К концу профазы ядерная оболочка исчезает, и хромосомы свободно располагаются в цитоплазме. Ядрышко исчезает чуть раньше.



Микротрубочки веретена деления

1. **Кинетохорные** - соединяют полюса веретена с кинетохорами хромосом.
2. **Полюсные** - располагаются между полюсами и не присоединяются к кинетохорам.
3. **Астральные** - образуют вокруг каждого полюса радиальные структуры, называемые звёздами или астерами.

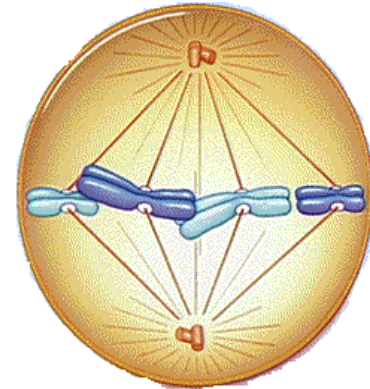


Метафаза (2n4c)

Началом метафазы считают тот момент, когда ядерная оболочка полностью исчезла. **Содержание генетического материала в метафазе не изменяется - набор хромосом 2n4c.** Хромосомы максимально спирализуются. Каждая хромосома состоит из двух хроматид, соединенных в области центромеры. Происходит присоединение хромосом к полюсным микротрубочкам веретена деления с помощью белковых структур в области центромер, называемых кинетохорами. При этом на каждой хромосоме два кинетохора – по одному на каждую сестринскую хроматиду.

Хромосомы начинают двигаться к экватору клетки. **Двуххроматидные хромосомы выстраиваются по экватору, образуя метафазную пластинку.** В животных клетках хромосомы располагаются так, что центромерные участки обращены к центру веретена деления, а плечи – к периферии. Такое расположение хромосом носит название **«материнской звезды»**. В растительных клетках такого упорядоченного расположения нет.

К концу метафазы завершается процесс обособления сестринских хроматид. Их плечи лежат параллельно друг другу, видна разделяющая их щель. Контакт между ними сохраняется только в области центромеры.



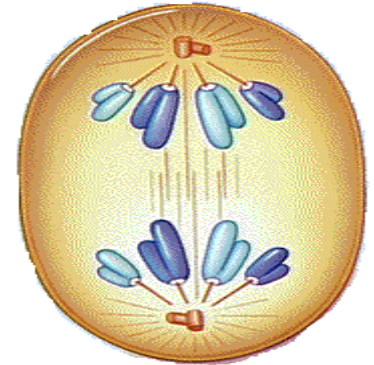
Анафаза (4n4c)

В анафазе хроматиды теряют центромерные связки и синхронно **начинают удаляться друг от друга за счет сокращения нитей веретена деления.**

Движение хроматид осуществляется за счет сокращения кинетохорных микротрубочек. А за счет удлинения полюсных и астральных микротрубочек, полюса деления клетки отодвигаются дальше, что формирует дополнительные тянущие силы и способствует расхождению хроматид к полюсам.

С этого момента сестринские хроматиды называют дочерними хромосомами. Движущиеся хромосомы часто принимают V-образную форму: центромера смотрит в сторону полюсов деления, а плечи как бы откинута к центру веретена.

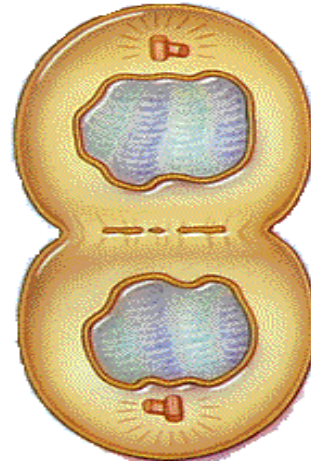
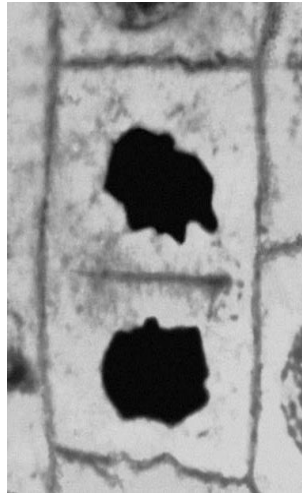
Анафаза – самая короткая стадия митоза (несколько процентов от всего времени).



Телофаза (2n2c)

В телофазе хромосомы концентрируются на полюсах клетки и деспирализуются, увеличиваются в объеме. Вокруг хромосом формируется оболочка ядер дочерних клеток. После замыкания ядерной оболочки формируется ядрышко. Веретено деления разрушается.

За телофазой обычно следует цитокинез – деление цитоплазмы клеток. Если его не происходит, то образуются многоядерные клетки.

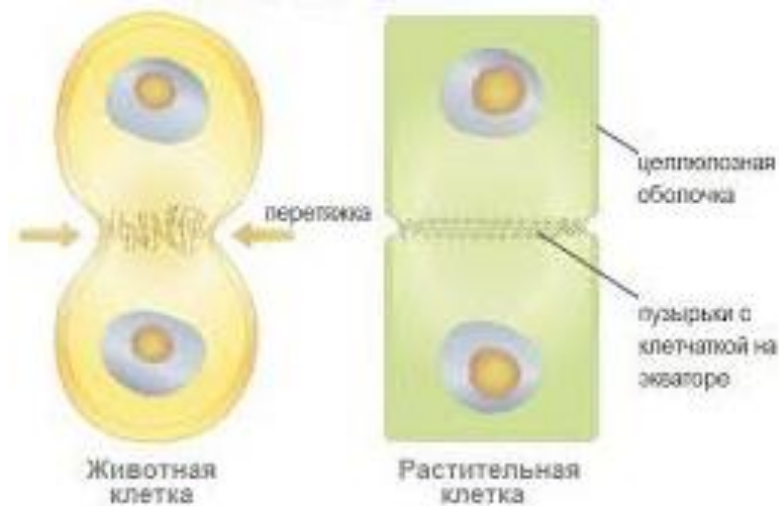


Цитокинез

За телофазой обычно следует **цитокинез** – **деление цитоплазмы клеток**. Если его не происходит, то образуются многоядерные клетки.

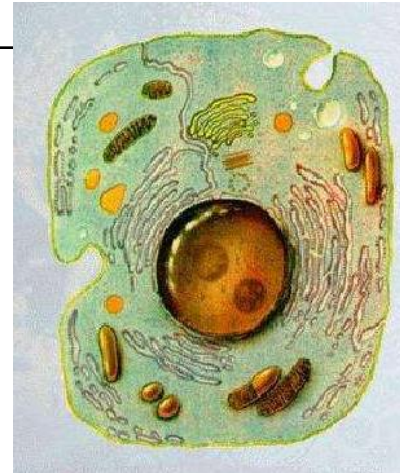
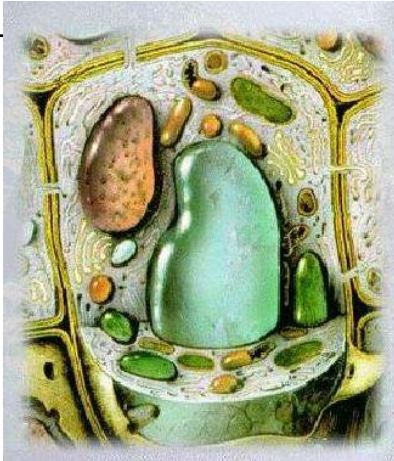
При делении **животных клеток** на их поверхности в плоскости экватора появляется борозда, которая постепенно углубляясь, разделяет материнскую клетку на две дочерние.

У **растений** деление происходит путем образования так называемой клеточной пластинки, разделяющей цитоплазму. Она возникает в экваториальной области веретена, а затем растет во все стороны достигая клеточной стенки (т.е. растет изнутри кнаружи). Клеточная пластинка формируется из материала, поставляемого ЭПС. Затем каждая из дочерних клеток образует на своей стороне клеточную мембрану и, наконец на обеих сторонах пластинки образуются целлюлозные клеточные стенки.



Особенности митоза у растений и у животных

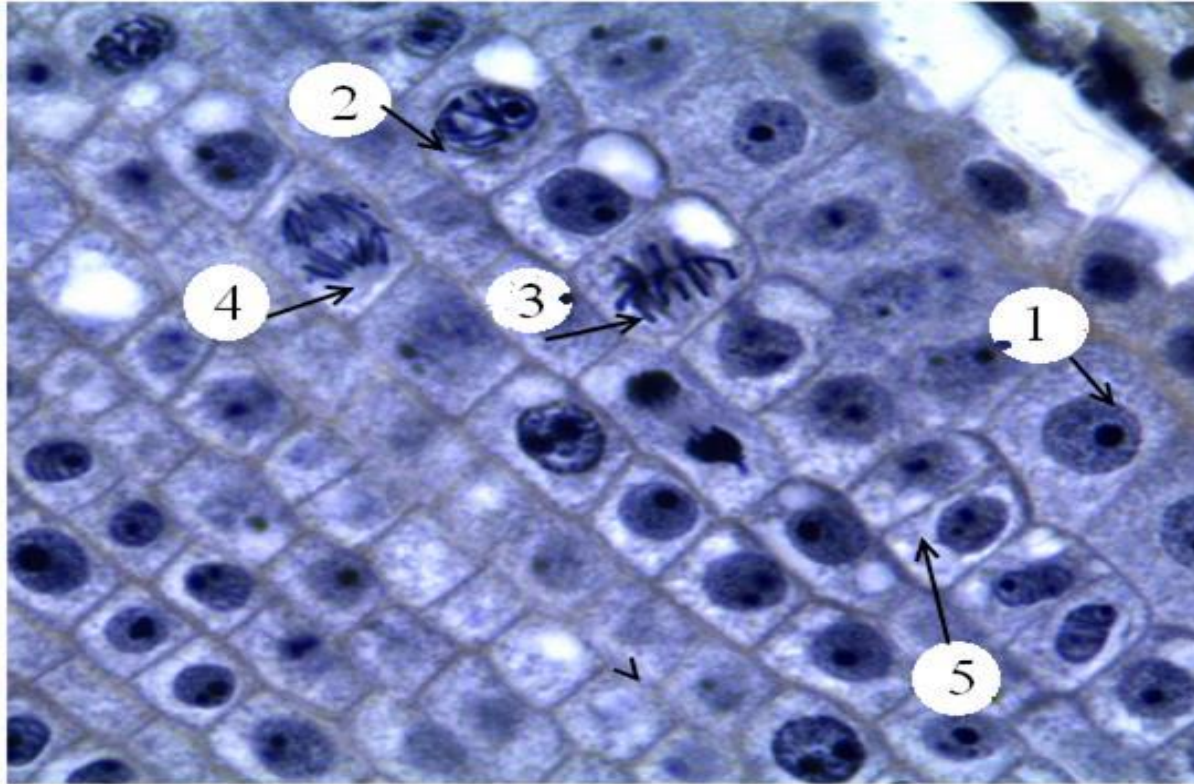
Растительная клетка	Животная клетка
<ul style="list-style-type: none">• Центриолей нет.• «Материнская звезда» не образуются.• Образуется клеточная пластинка.• При цитокинезе не образуются борозды (перетяжки).• Митозы происходят главным образом в меристемах.	<ul style="list-style-type: none">• Центриоли имеются.• «Материнская звезда» образуются.• Клеточная пластинка не образуется.• При цитокинезе образуется борозда• Митозы происходят в различных тканях и участках организма



Хромосомный и хроматидный набор

Стадия	Хромосом (<u>n</u>) и молекул ДНК или хроматид (<u>c</u>)
Интерфаза	
G ₁	2n 2c
S	2n 4c (репликация)
G ₂	2n 4c
Митоз (кариокинез)	
профаза	2n 4c
метафаза	2n 4c
анафаза	2n 2c (расхождение хроматид)
телофаза	2n 2c

Митоз растительной клетки (срез корешка лука)



Окраска: гематоксилин. 1 – интерфаза, 2 – профаза, 3 – метафаза, 4 – анафаза, 5 – телофаза.

Биологическое значение митоза

закljučается в следующем:

- в результате митоза образуются две клетки, каждая из которых содержит столько же хромосом, сколько их было в материнской. Хромосомы дочерних клеток происходят от материнских хромосом путем точной репликации ДНК, поэтому их гены содержат совершенно одинаковую наследственную информацию. Таким образом, **митоз обеспечивает точную передачу наследственной информации от родительской клетки к дочерним;**

- благодаря митозу число клеток в организме увеличивается, поэтому **митоз – один из главных механизмов роста;**

- многие виды растений и животных размножаются бесполом путем при помощи одного лишь митотического деления клеток, таким образом, **митоз лежит в основе бесполого размножения;**

- **митоз обеспечивает регенерацию утраченных частей и замещение клеток,** происходящее в той или иной степени у всех многоклеточных организмов.

G_0 период – период покоя

После митоза клетки могут находиться в одном из трех возможных состояний:

- в цикле
- в периоде покоя
- в периоде терминальной дифференцировки

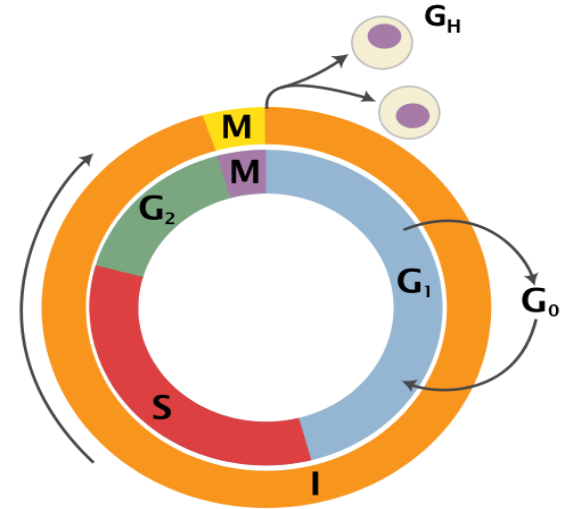
дифференцировки

Период покоя (G_0 период):

на данном этапе клетка **не делится**.

Этот шаг может продлиться несколько часов, несколько дней, несколько лет или целую жизнь.

Пример: стволовые клетки находятся в фазе G_0 . Эти клетки находятся в красном костном мозге. Когда клетка получает сигнал, чтобы делится, эти клетки возвращаются в цикл, фазу G_1 .

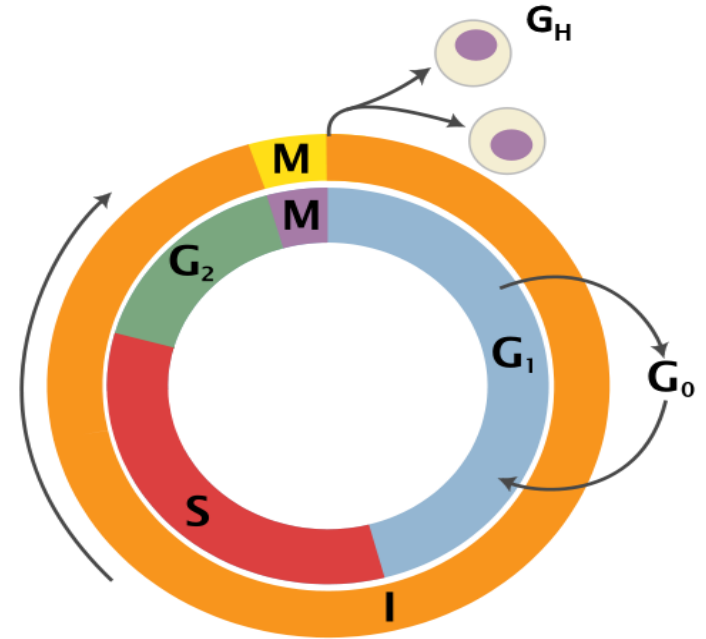


G_N период – период терминальной дифференцировки

В стадии **терминальной дифференцировки (период G_N)** клетки дифференцируются, выполняют функцию и гибнут. Способность делиться полностью утрачивается.

Вернуться в цикл они не могут (зрелые нейроны, зернистые лейкоциты крови, эритроциты, кардиомиоциты).

В соответствии с этим в многоклеточном организме выделяют **три различных категории клеточных комплексов**, которые отличаются по своей митотической активности.



Категории клеточных комплексов

- выделяют несколько **различных категорий** клеточных комплексов в многоклеточном организме, которые отличаются по своей митотической активности:
 1. **Обновляющиеся клеточные комплексы** – они представлены не однородными наборами клеток: *стволовые, покоящиеся, специализированные, погибшие*
- В организме есть *постоянно обновляющиеся ткани* – различные типы *эпителия, кроветворные ткани*. В таких тканях существует пул клеток, которые постоянно делятся, заменяя отработавшие или погибающие типы клеток (например, клетки *крипта кишечника, клетки базального слоя покровного эпителия, кроветворные клетки костного мозга*).

Категории клеточных комплексов

- **2) Растущие клеточные комплексы**
большинство клеток в них находятся «вне цикла» в G0 периоде - в таких комплексах отмечается наличие и специализированных клеток и в тоже время всегда есть клетки либо в стадии митоза либо готовые к нему приступить

Категории клеточных комплексов

3) Стабильные клеточные комплексы – *нейроны и кардиомиоциты* – для них характерна высокая дифференцировка и *утрата способности к митозу будут отмечаться только возрастными изменениями.*

Митотический индекс

Для характеристики митотической активности в тканях определяют **митотический индекс** – это количество делящихся клеток на 1000 клеток этой ткани:

$$\boxed{\text{Митотический индекс}} = \frac{\text{Число делящихся клеток}}{1000 \text{ клеток}}$$

По величине митотического индекса (МИ), судят о типе клеточного комплекса:

100/1000 – обновляющиеся

10/1000 – растущие

1/1000 – стабильные

Формы патологии митоза:

Нарушение нормального течения и неправильное распределение хромосом между дочерними клетками приводит к возникновению клеток с несбалансированными кариотипами (мутациями).

Формы патологии митоза:

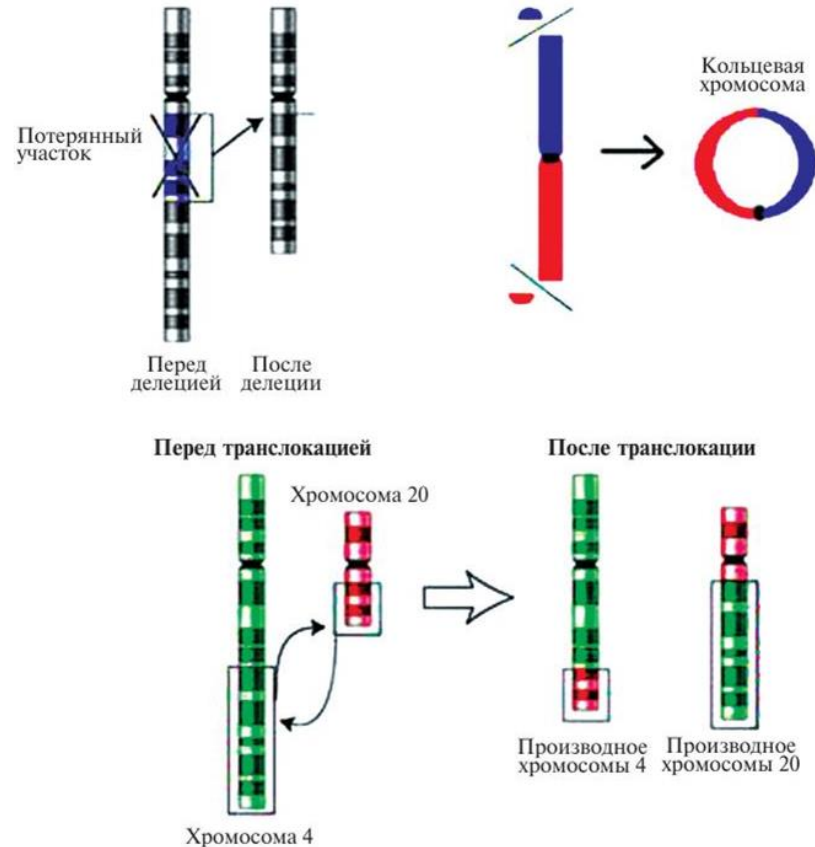
- Повреждение хромосом под действием ядов (метанол, колхицин).
Возникает нарушение целостности хромосом, приводящее к неправильному расхождению их к полюсам.
- Повреждение митотического аппарата приводит к неравномерному распределению хромосом между дочерними клетками.
- Нарушение цитокинеза — возникновение преждевременного или позднего образования борозд деления.

Патологии митоза

Атипичические митозы возникают при повреждении митотического аппарата и характеризуются неравномерным распределением генетического материала между клетками – анеуплоидией. Атипичические митозы характерны для злокачественных опухолей и облученных тканей. Чем выше их частота и чем значительнее степень анеуплоидии, тем более злокачественной является опухоль.

Нарушение нормального митотического деления клеток может обуславливаться аномалиями хромосом, которые называют **хромосомными aberrациями** (от лат. aberratio - отклонение).

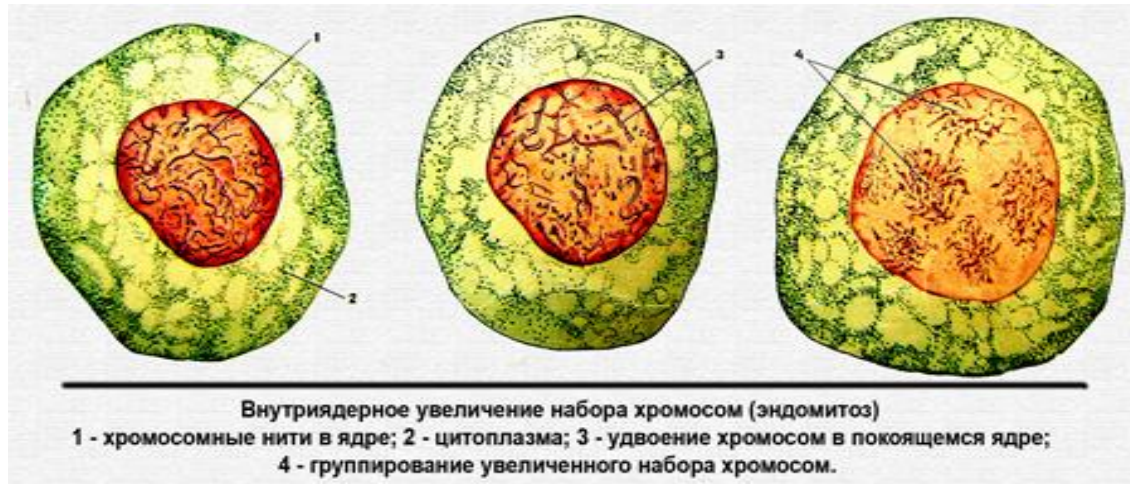
Вариантами хромосомных aberrаций служат слипание хромосом, их разрыв на фрагменты, выпадение участка, обмен фрагментами, удвоение отдельных участков хромосом и др. Хромосомные aberrации могут возникать спонтанно, но чаще развиваются вследствие действия на клетки мутагенов и ионизирующего облучения.



ЭндоМИТОЗ

Эндомитоз (от греч. endon – внутри, mitos - нить) - это вариант митоза, при котором происходит удвоение числа хромосом внутри ядерной оболочки без ее разрушения и образования веретена деления. При повторных эндомитозах число хромосом в ядре может значительно увеличиваться при соответствующем нарастании содержания в нем ДНК (полиплоидии) и увеличении объема ядра.

Наличие полиплоидных клеток – нормальное явление в печени, эпителии мочевого пузыря, поджелудочной и слюнных железах.



Амитоз (прямое деление)

Это прямое деление ядра клетки, у которой ядро находится в интерфазном состоянии, хромосомы не выявляются, веретено деления не образуется, **равномерного распределения генетического материала не происходит** (из одной клетки образуются две не идентичные друг другу).

В результате амитоза возникают дву- и многоядерные клетки. **Образовавшиеся клетки делиться митотически не могут!!!**

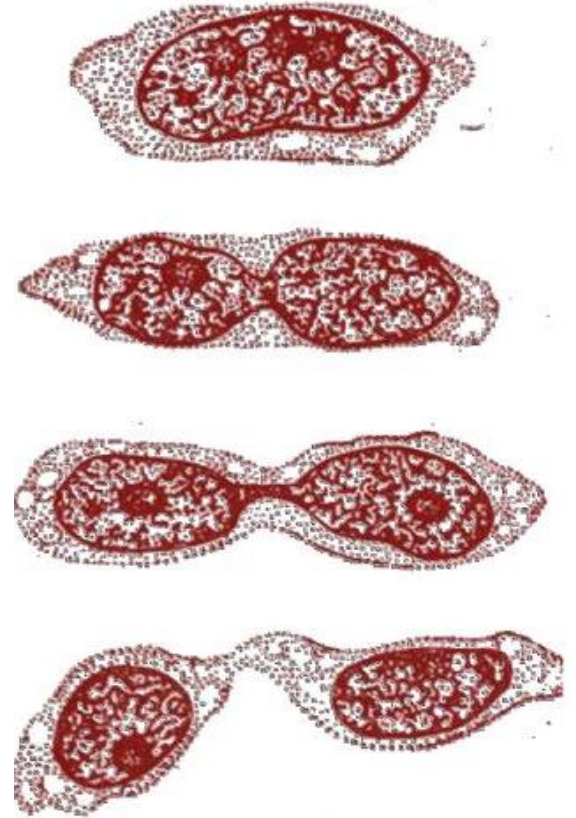
Этот способ деления неполноценный и никогда не встречается в клетках, нуждающихся в сохранении полноценной генетической информации.

Амитоз встречается в различных тканях, в специализированных, обреченных на гибель клетках, особенно в клетках зародышевых оболочек млекопитающих, фолликулярных клетках яичников, в клетках печени, хрящах, роговице глаза. Клетка, претерпевающая амитоз, в дальнейшем не способна вступить в нормальный митотический цикл.

Амитоз характерен при патологии – в патологически измененных и обреченных на гибель клетках (воспаления, злокачественные опухоли).

Амитоз (прямое деление)

В норме у человека амитоз встречается в клетках специализированных тканей (зародышевые клетки, фолликулярные клетки яичников), при необходимости быстрого восстановления тканей (после травм, операций), в отживших стареющих клетках и др.



Регуляция митотического цикла

Основная цель регуляции:

- **успешно передать точные нити ДНК (без мутаций) от родительских геномов до дочерних клеток**

Прохождение ДНК без мутаций гарантирует, что цикл производит здоровые и функциональные клетки.

Однако постоянное влияние внешних и внутренних факторов может приводить к нарушению структуры ДНК, что в свою очередь, может стать причиной рака.

Для предупреждения «сбоев ДНК» существует система контрольно-пропускных пунктов (checkpoints точки или точки рестрикции), которые, более или менее, “просматривают” ДНК, проходящую через цикл для предотвращения мутаций.

Процесс пролиферации

(разрастание ткани организма путём размножения клеток делением клеток)

регулируется регуляторными факторами

Экзогенные факторы –

находятся в микроокружении клетки и взаимодействуют с ее поверхностью

- - *ритмический* – зависит от внешних факторов (свет, температура)
- - *пищевой* (полноценное питание стимулирует митотическую активность)
- - *стресс* – снижает клеточную активность

Эндогенные факторы –

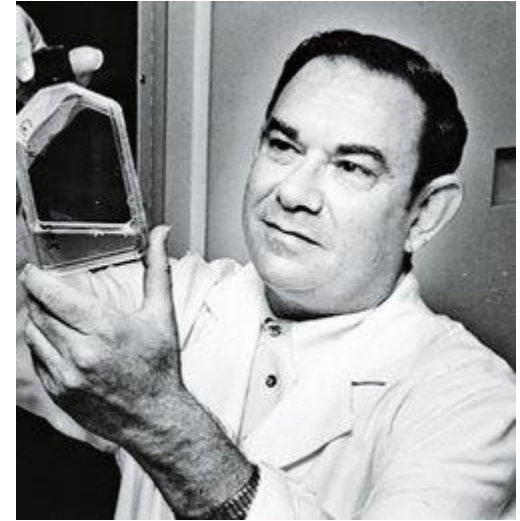
синтезируются самой клеткой и действуют внутри нее

- - *эндокринный* (гормоны)
- - *продукты распада тканей* стимулируют митозы и способствуют регенерации
- - *цитокины* – молекулы адгезии
- - *митогены* = акселераторы
- - *цитостатики* = супрессоры
- - ***генетический фактор***

Лимит Хейфлика

Во взрослом организме человека клетки различных тканей и органов имеют неодинаковую способность к делению. Кроме этого, при старении интенсивность пролиферации клеток снижается (так как увеличивается интервал между митозами).

В 60-х годах прошлого века **Леонард Хейфлик** открыл ограничение числа делений у клеток человека в клеточной культуре: клетки умирают приблизительно после 50 делений, и имеют признаки старения при достижении данной границы (лимит Хейфлика).



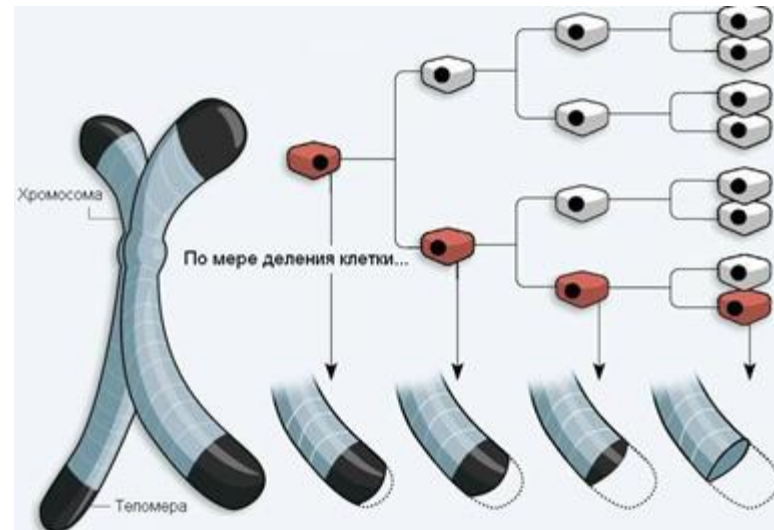
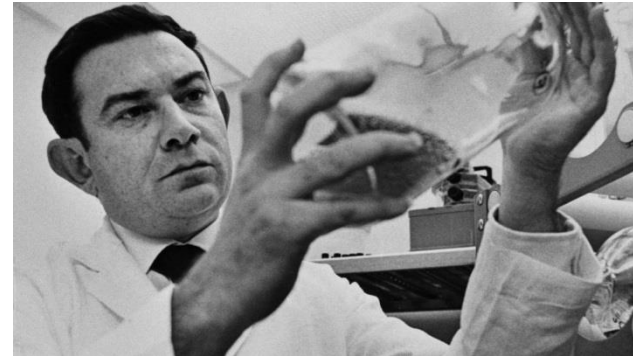
Леонард Хейфлик — профессор анатомии Калифорнийского университета. В 1959 разработал инвертированный микроскоп для исследований культур клеток, до сих пор являющийся прототипом микроскопов, применяемых учёными в этой области.

Лимит Хейфлика

Леонард Хейфлик установил, что в клеточных культурах соматические клетки человека способны делиться ограниченное число раз. При этом предельное число делений (названное лимитом Хейфлика) зависит от возраста индивидуума, которому эти клетки принадлежат: так клетки новорожденных делились 80-90 раз, а клетки 70-летних людей были способны делиться не более 30-20 раз.

Фактором, ограничивающим количество делений является уменьшение теломер хромосом.

Достигнув лимита, клетки переходили в состояние одряхления, которое характеризовалось резким изменением метаболизма и, в первую очередь, нарушением репликации ДНК. Затем наступала гибель клеток.



Генетические факторы регуляции митотического цикла

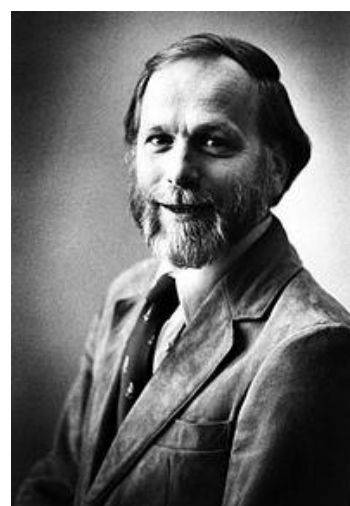
В 1989 г. Д. Бишоп открыл 2 типа генов управляющих размножением клеток:

Протоонкогены акселераторы – стимулирующие МИТОЗ

Кодируют семейство белков – циклин-зависимых киназ (ЦЗК 1, 2, 3, 4...) и циклинов А, Б, С, Д, Е.

Протоонкогены супрессоры – подавляющие митотическую активность

Кодируют группу белков – ферментов ***P13, P15, P16, P53*** и убиквитин



Джон Майкл Бишоп - американский иммунолог и микробиолог, лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине

Политенные хромосомы (политения)

4. Контроль и предупреждение повторной репликации

5. Выход из S-фазы

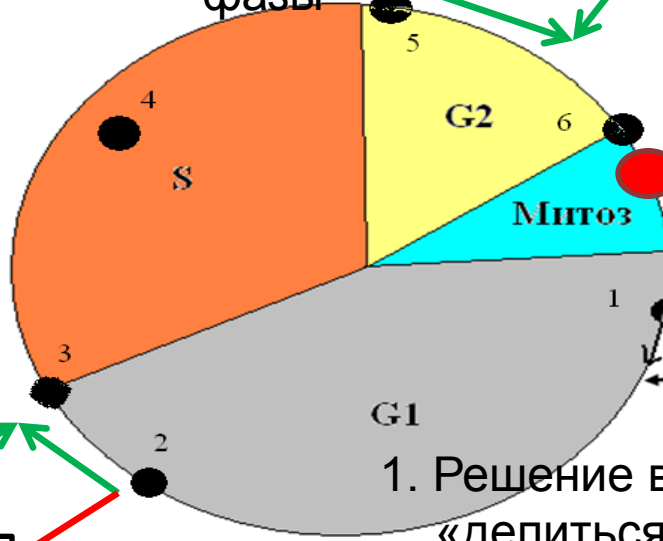
репарация

Апоптоз

6. Контроль входа в Митоз:

- Не повреждена ли ДНК?
- Достаточен ли размер клетки?
- Благоприятная ли среда?

Апоптоз



Апоптоз

репарация

2-3. Проверка:

- Не повреждена ли ДНК?
- Достаточен ли размер клетки?
- Благоприятная ли среда?

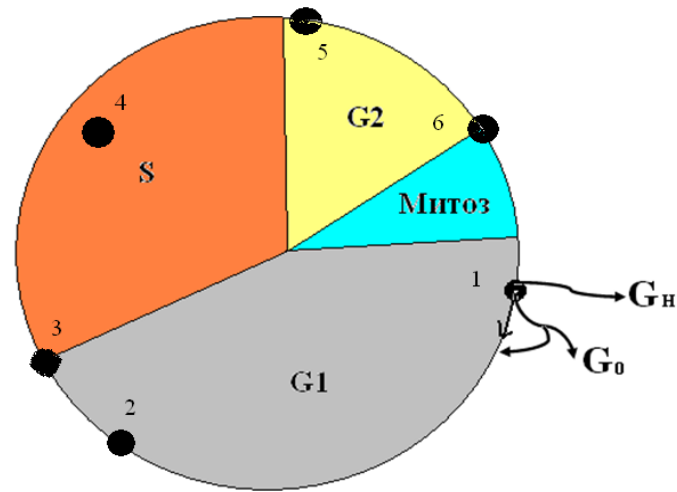
1. Решение вопроса: «делиться или нет?»

7. Запуск Анафазы

При обнаружении повреждений ДНК, **p53** (супрессор) останавливает клеточный цикл и активирует ферменты **репарации ДНК**.

Если ДНК не может быть восстановлен, p53 может активировать **апоптоз** - регулируемый процесс программируемой клеточной гибели, чтобы избежать дублирования повреждение хромосом.

Нарушения данного процесса может привести к репродукции поврежденной ДНК и увеличению количества «мутантных» клеток → **РАК (онкология)**



Смерть клеток

Апоптоз – генетически запрограммированный механизм гибели клеток.

Механизм: активация ферментов, разрезающих ДНК --- фрагментация клеток --- поглощение фагоцитами.

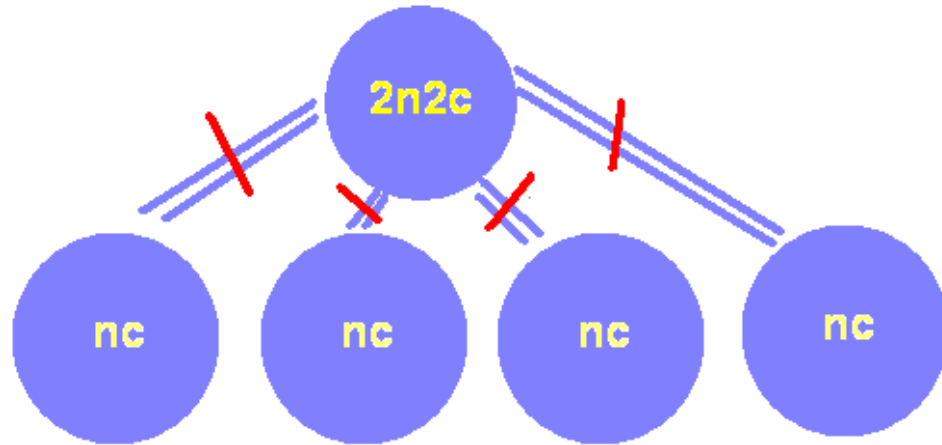
Значение:

1. Морфогенез – уничтожение лишних клеток.
2. Поддержание структуры - уничтожение “старых” клеток, заменяющихся на новые.
3. Уничтожение поврежденных, патологических и “беспризорных” клеток.

Некроз – незапрограммированная гибель клеток при повреждениях, не совместимых с жизнью

Мейоз

Мейоз - это редукционное деление, которое лежит в основе образования половых клеток – гамет у животных и спор у растений.



Мейоз

Во время мейоза происходит не одно (как при митозе), а **два следующих друг за другом клеточных деления**. Первому мейотическому делению **предшествует интерфаза 1** – фаза подготовки клетки к делению, в это время происходят те же процессы, что и в интерфазе митоза.

Первое мейотическое деление называют редукционным, так как именно во время него происходит уменьшение числа хромосом, т.е. диплоидный набор хромосом становится гаплоидным, однако хромосомы остаются двуххроматидными.

Сразу же после первого деления мейоза совершается второе – обычный митоз. **Это деление называют эквационным**, так как во время этого деления хромосомы становятся однохроматидными.

Последовательность стадий мейоза:

Интерфаза

Мейоз I

Профаза I

Метафаза I

Анафаза I

Телофаза I

Интерфаза (интеркинез)

Мейоз II

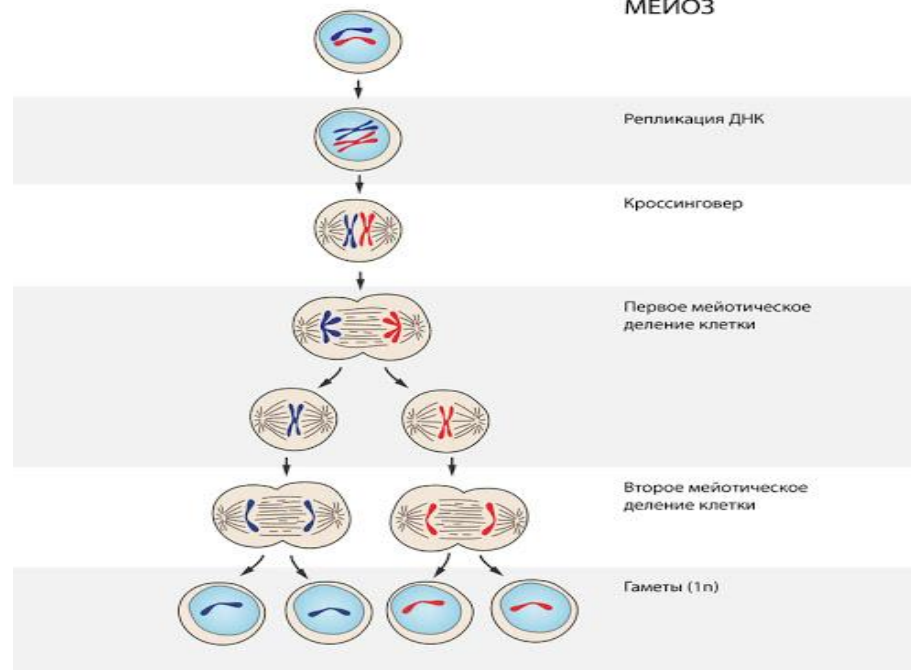
Профаза II

Метафаза II

Анафаза II

Телофаза II

МЕЙОЗ

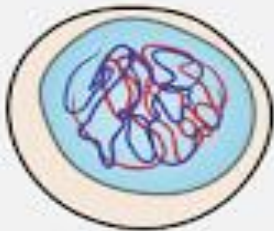


Первое деление мейоза включает **профазу I**, **метафазу I**, **анафазу I** и **телофазу I**.

Профаза I мейоза очень сложная и состоит из **5 стадий**:

- 1) лептотена
- 2) зиготена
- 3) **пахитена**
- 4) диплотена
- 5) диакинез

Лептотена



Зиготена



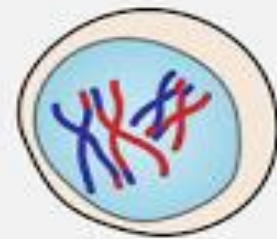
Пахитена



Диплотена



Диакинез



Профаза I мейоза ($2n4c$)

Лептотена ($2n4c$) – стадия тонких нитей

Хромосомы на этой стадии слабо конденсированы. Они уже двуххроматидные (каждая хромосома состоит из двух сестринских хроматид), но хроматиды настолько сближены, что хромосомы имеют вид длинных одиночных тонких нитей.

Теломеры хромосом еще прикреплены к ядерной мембране с помощью особых структур – прикрепительных дисков.

Лептотена
(стадия тонких нитей)



Профаза I мейоза ($2n4c$)

Зиготена ($2n4c$) – стадия сливающихся нитей

Гомологичные хромосомы начинают притягиваться друг к другу сходными участками и конъюгируют. Конъюгацией называют процесс тесного сближения гомологичных хромосом.

Конъюгация может начинаться в разных точках хромосом (чаще всего с концов, иногда с центромер), а затем распространяться по всей длине. Полагают, что при этом каждый ген приходит в соприкосновение с гомологичным ему геном другой хромосомы. Пара конъюгирующих гомологичных хромосом объединяется, образуя бивалент.

В биваленте четыре хроматиды удерживаются вместе, поэтому его называют тетрадой. Хромосомы в биваленте продолжают укорачиваться и утолщаться.

Зиготена
(стадия сливающихся нитей)



Бивалент

Профаза I мейоза ($2n4c$)

Пахитена ($2n4c$) – стадия толстых нитей

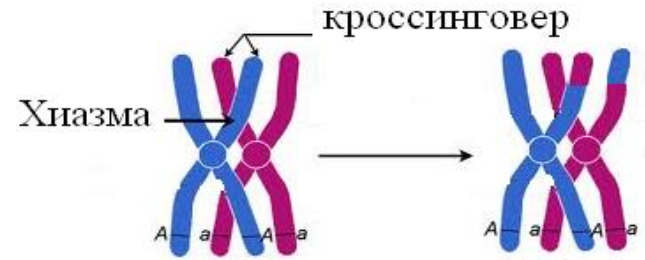
На этой стадии процесс спирализации хромосом продолжается, причем в гомологичных хромосомах он происходит синхронно. Становится хорошо заметно, что хромосомы двухроматидные. Наблюдается особенно тесный контакт между хроматидами.

Важнейшим событием пахитены является **кроссинговер** – обмен участками гомологичных хромосом, что приводит к образованию перекреста между несестринскими хроматидами бивалента.

В пахитене перекресты еще не видны. Они проявляются позднее в виде **хиазм**.

Кроссинговер приводит к первой во время мейоза рекомбинации генов.

Пахитена
(стадия толстых нитей)



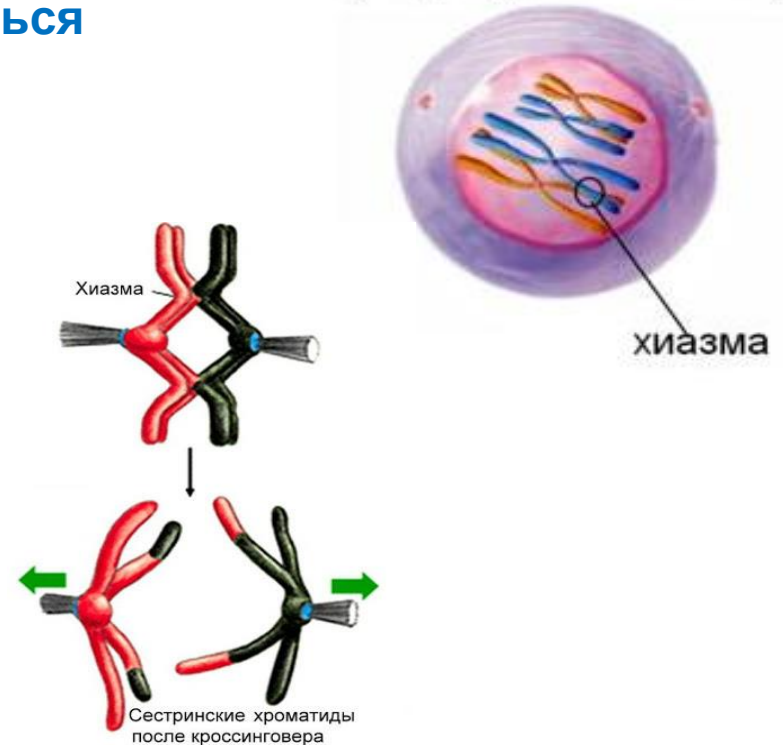
Профаза I мейоза (2n4c)

Диплотена (2n4c) – стадия двойных нитей

Хромосомы в бивалентах перекручиваются и **начинают отталкиваться друг от друга**. Процесс отталкивания начинается в области центромеры и распространяется по всей длине бивалентов.

Однако они все еще остаются связанными друг с другом в некоторых точках, которые называют **хиазмами** (от греч. *chiasma* - перекрест). Эти точки появляются в местах кроссинговера.

Диплотена
(стадия двойных нитей)



Профаза I мейоза ($2n4c$)

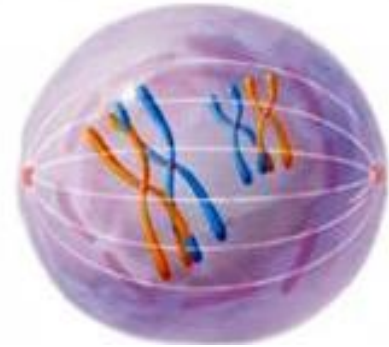
Диакинез ($2n4c$) – стадия расхождения бивалентов

Диакинез – последняя стадия профазы I, во время которой хромосомы сильно укорачиваются и утолщаются за счет максимальной спирализации хроматид, а затем отдаляются от ядерной оболочки.

Происходит сползание хиазм к концам хроматид. Каждый бивалент содержит четыре хроматиды, которые удерживаются друг около друга благодаря наличию хиазм, переместившихся к их концам.

В конце профазы I исчезают ядерная оболочка и ядрышко. Биваленты перемещаются в экваториальную плоскость. Центриоли (если есть) перемещаются к полюсам клетки, и формируется веретено деления.

Диакинез
(стадия расхождения бивалентов)

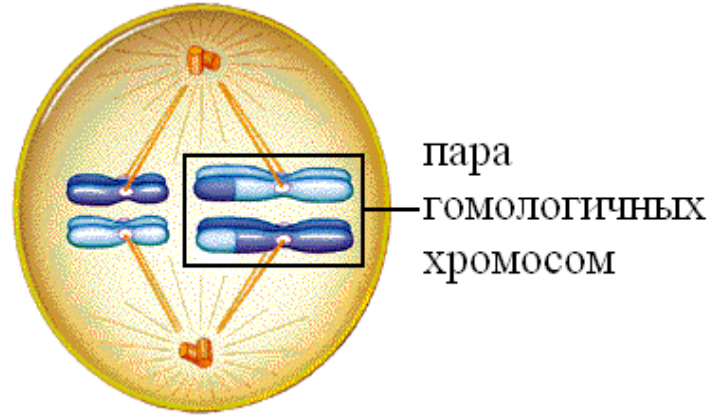


Метафаза I мейоза ($2n4c$)

На этой стадии заканчивается формирование веретена деления. Спирализация хромосом максимальная. Биваленты располагаются в плоскости экватора. Причем центромеры гомологичных хромосом обращены к разным полюсам клетки.

Расположение бивалентов в экваториальной плоскости равновероятное и случайное, т.е. каждая из отцовских и материнских хромосом может быть повернута в сторону того или другого полюса. Это создает предпосылки для второй во время мейоза рекомбинации генов.

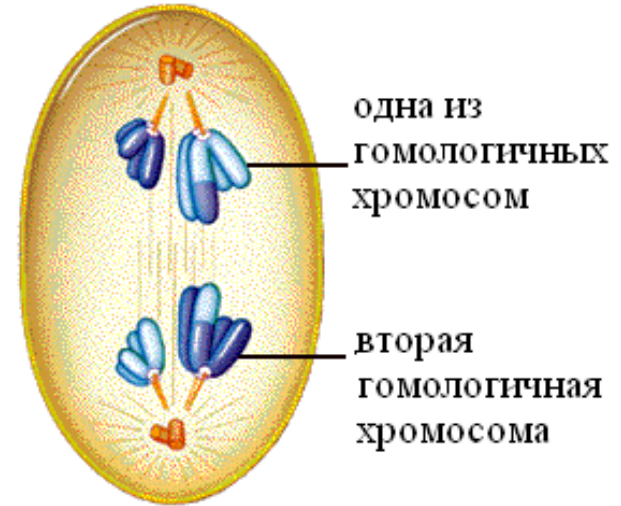
Центромеры хромосом прикрепляются к нитям веретена деления, но не делятся.



Анафаза I мейоза ($2n4c$)

Нити веретена деления тянут центромеры, соединяющие две хроматиды, к полюсам веретена деления. Таким образом, к полюсам расходятся **целые хромосомы, а не хроматиды**, как при митозе.

У каждого полюса оказывается половина хромосомного набора. Причем пары хромосом расходятся так, как они располагались в плоскости экватора во время метафазы. В результате возникают самые разнообразные сочетания отцовских и материнских хромосом (происходит перемешивание хромосом отца и матери), **происходит вторая рекомбинация генетического материала**.

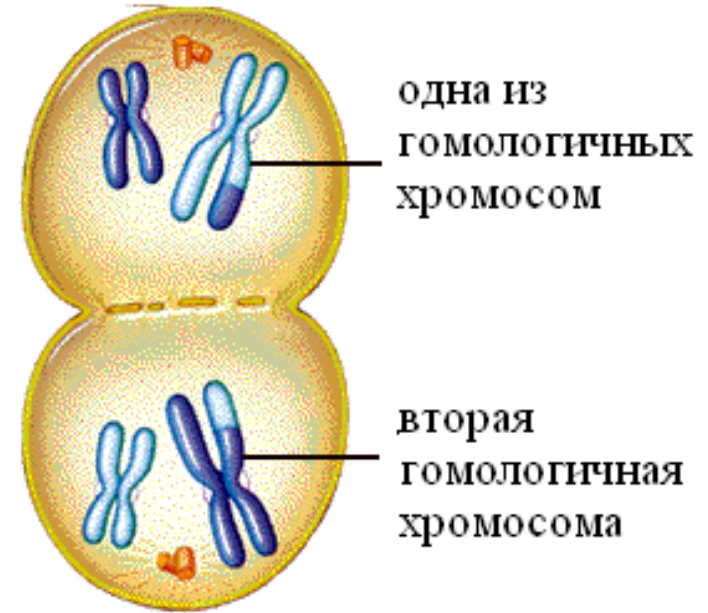


анафаза I

Телофаза I мейоза (1n2c)

У животных и некоторых растений хроматиды деспирализуются, вокруг них формируется ядерная оболочка. Затем происходит деление цитоплазмы (у животных) или образуется разделяющая клеточная стенка (у растений).

У многих растений клетка из анафазы I сразу же переходит в профазу II, минуя телофазу I.



телофаза I

ИТОГ I мейотического деления:

Из одной диплоидной клетки с двуххроматидными хромосомами образуется **2 гаплоидные клетки с двуххроматидными хромосомами: $n2c$** (произошла редукция хромосом (уменьшение) числа хромосом с диплоидного до гаплоидного).

Хроматиды генетически не однородны. **Дважды произошла рекомбинация генов** (за счет кроссинговера и случайного и независимого расхождения хромосом в анафазе

Интерфаза I мейоза (1n2c)

Она характерна только для животных клеток. Она кратковременна, репликация ДНК не происходит.

Второе деление мейоза включает профазу II, метафазу II, анафазу II и телофазу II. Оно протекает так же, как обычный МИТОЗ.

Профаза II (1n2c)

Очень короткая. Хромосомы спирализуются, ядерная мембрана и ядрышки разрушаются, центриоли, если они есть, перемещаются к полюсам клетки, формируется веретено деления.

Метафаза II (1n2c)

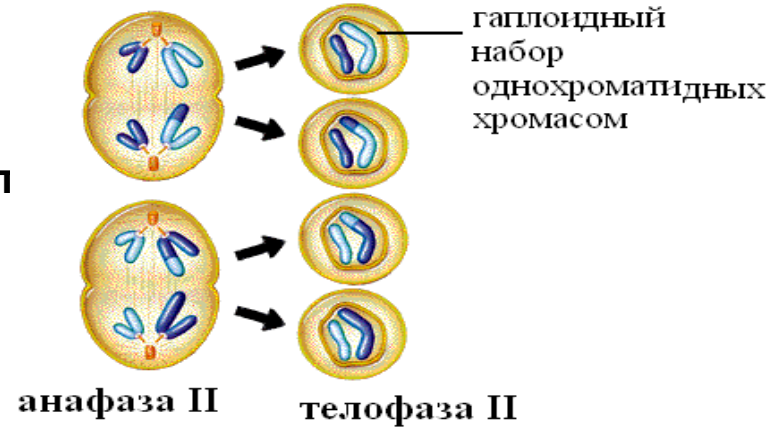
Формируются метафазная пластинка и веретено деления: хромосомы располагаются в плоскости экватора, нити веретена деления прикрепляются к центромерам.

Анафаза II ($2n2c$)

Центромеры хромосом делятся, хроматиды становятся самостоятельными хромосомами, и нити веретена деления растягивают их к полюсам клетки. Число хромосом в клетке становится диплоидным, но на каждом полюсе формируется гаплоидный набор. Поскольку в метафазе II хроматиды хромосом располагаются в плоскости экватора случайно по отношению к полюсам клетки, в анафазе происходит третья рекомбинация генетического материала

Телофаза II ($1n1c$)

Нити веретена деления исчезают, хромосомы деспирализуются, вокруг них восстанавливается ядерная оболочка, делится цитоплазма.



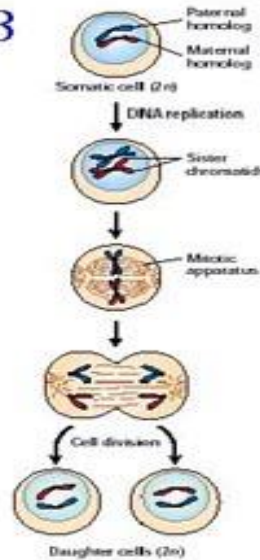
Хромосомный и хроматидный набор

Стадия	Количество хромосом (<u>n</u>) и ДНК или хроматид (<u>c</u>)
Интерфаза I	
G ₁	2n 2c
S	2n 4c (репликация ДНК)
G ₂	2n 4c
Мейоз I	
Профаза I	2n 4c
Метафаза I	2n 4c
Анафаза I	n 2c (Расхождение гомологичных пар хромосом)
Телофаза I	n 2c

Стадия		Количество хромосом (<u>n</u>) и ДНК или хроматид (<u>c</u>)
Интерфаза II		
G ₁		n 2c
S		n 2c (нет репликации ДНК)
G ₂		n 2c
Мейоз II		
Профаза II		n 2c
Метафаза II		n 2c
Анафаза II		n c (расхождение сестринских хроматид)
Телофаза II		n c

Сравнительная характеристика митоза и мейоза

МИТОЗ



репликация
ДНК

Деление
клетки

Дочерние клетки
($2n$)

МЕЙОЗ



Первое
мейотическое
деление клетки

Второе
мейотическое
деление клетки

Биологическое значение мейоза

1. Благодаря мейозу **происходит редукция числа хромосом**: из одной диплоидной клетки образуется 4 гаплоидных.
2. **Поддержание постоянства числа хромосом** – важного признака для каждого вида;
3. Данный процесс характеризуется двумя видами генетической рекомбинации: **независимым распределением гомологичных хромосом и кроссинговером**. В результате – большая степень **перекомбинации наследственного материала**. Благодаря этому обеспечивается широкий спектр наследственной изменчивости и генетическая неповторимость индивидов.

Вывод

Процессы жизненного цикла клеток - размножение, дифференцировка и гибель - определяют образование, развитие, функционирование и смерть организмов. От них зависит сохранение структурного и генетического гомеостаза, возможность регенерации и восстановления после действия повреждающих факторов. Любые нарушения этих процессов ведут к заболеваниям.

Возможность контролировать эти процессы и направленно влиять на них открывает новые возможности профилактики и лечения многих заболеваний, включая онкологические, сердечно-сосудистые, нейродегенеративные и другие, разрабатывать более эффективные способы реабилитации.

Значение изучения жизненного цикла отражено в 6-ти Нобелевских премиях по физиологии и медицине (биологии), присужденных за последние 20 лет



Спасибо за внимание