

Навчальна дисципліна: Біологія і екологія

Лекція № 26, 27, 28, 29

Тема: *Репродукція еукаріотичних клітин.*

План:

1. Соматичні і статеві клітини. Каріотип. Порівняльна характеристика наборів хромосом різних видів.
2. Життєвий цикл клітин. Інтерфаза: періоди та тривалість. Значення інтерфази. Регуляція інтерфази. Структурна організація інтерфазного хроматину. Будова нуклеусом. Типи та значення основних та кислих білків.
3. Способи репродукції клітин. Непрямий поділ. Мітоз (каріокінез та цитокінез). Фази мітозу, їх тривалість та біологічне значення. Структурні зміни хроматину на різних етапах мітотичного циклу клітини. Морфологічна будова метафазної хромосоми.
4. Порушення процесу мітозу. Цитокінез у рослин та тварин.
5. Типи мітозу. Регуляція процесу мітозу.

Література:

Основна: Задорожний К.М., Утєвська О.М. «Біологія і екологія». Харків. «Ранок», 2018., с . 164-173.

Додаткова: Балан П.Г., Вервес Ю.Г., Поліщук В.П. Біологія: 10 кл. К.: Генеза, 2010., с. 142-146.

1. Термін «репродукція» є загальнобіологічним поняттям, що характеризує відтворення на різних рівнях. Так, репродукція ДНК відбувається на молекулярному рівні, репродукція вірусів – на субклітинному, репродукція клітин – на клітинному, репродукція організмів – на організмовому.

РЕПРОДУКЦІЯ КЛІТИН – відтворення нових клітин шляхом поділу вихідної клітини. Відтворення клітин – це не просто виникнення двох клітин з однієї, а утворення двох клітин, які містять однакову спадкову інформацію, та ще й подібну до інформації батьківської вихідної клітини.

За здатністю до репродукції клітини тваринного організму поділяють на чотири категорії:

1) високоспеціалізовані клітини, що не діляться (нейрони, клітини скелетних м'язів, кардіоміоцити);

2) поновлювані клітини (наприклад, ентероцити – клітини епітелію слизової оболонки кишечника, що живуть 5 – 10 днів і оновлюються за допомогою камбіальних клітин);

3) стовбурові клітини (зберігають здатність до поділу протягом всього життя організму і замінюють клітини, які гинуть);

4) клітини, які зазвичай не розмножуються, але за певних умов можуть дедиференціюватися і вступати у мітоз (наприклад, гепатоцити, які набувають здатності до поділу за репаративної регенерації).

З репродукцією клітин пов'язані ріст організмів, фізіологічна й репаративна регенерація, нестатеве розмноження. Завдяки клітинному поділу забезпечується безперервність існування наступних поколінь клітин і цілих організмів, оскільки індивідуальне життя більшості клітин обмежене порівняно коротким терміном.

Репродукція клітин у багатоклітинних організмів різко збільшує їх адаптивні можливості й створює необхідні передумови для індивідуального та історичного розвитку. Основним типами репродукції клітин є мітоз та амітоз. Отже, репродукція клітин забезпечує безперервність існування наступних поколінь клітин і цілих організмів.

Генетичний матеріал в еукаріотичних клітинах

Клітини еукаріотів відрізняються від клітин прокаріотів більш складною будовою, насамперед наявністю таких клітинних структур, як ядро, розвинена мережа внутрішньоклітинних мембран, мітохондрії та пластиди. Еукаріотичне ядро містить велику кількість генетичного матеріалу, що представлений, як правило, кількома десятками молекул ДНК. Комплекси цих молекул ДНК з білками називають хромосомами.

Набір хромосом у ядрі клітини, що характеризується їх числом, розміром і формою, називають каріотипом. Каріотип є видоспецифічною характеристикою, тобто різні біологічні види мають різні каріотипи (мал. 78.1).

Соматичні й статеві клітини

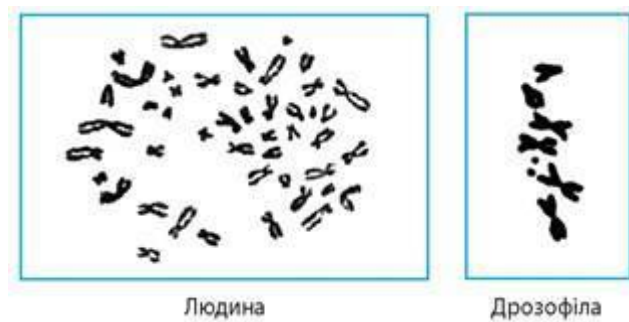
Багатоклітинні еукаріотичні організми мають різні типи клітин, які спеціалізуються на виконанні різних функцій. Усі клітини поділяють на соматичні та статеві.

Статевими клітинами (гаметами) називають клітини, спеціалізовані на функції статевого розмноження. Вони містять половинний набір генетичного матеріалу і під час злиття одна з одною утворюють першу клітину нового організму.

Соматичними клітинами називають усі інші типи клітин, з яких будується тіло організму.

Число хромосом у соматичних клітинах особини або виду називають диплоїдним (подвійним) і позначають $2n$. Так, у людини $2n = 46$.

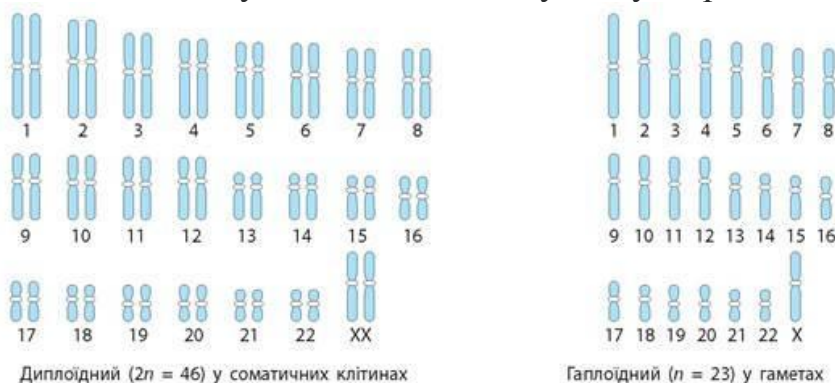
У статевих клітинах число хромосом називають гаплоїдним (одинарним) і позначають n . У людини $n = 23$ (мал. 78.2).



Непрямий поділ еукаріотичних клітин

Процес поділу еукаріотичних клітин значно складніший порівняно з поділом прокаріотів. Еукаріотичні клітини розмножуються шляхом спеціально вироблених механізмів непрямого поділу — мітозу і мейозу.

Ускладнення генетичного апарату еукаріотів, наявність у їхніх клітинах не однієї, а багатьох молекул ДНК створило проблему їх рівномірного розподілу під час поділу. Для вирішення цієї проблеми в ході еволюції виник спеціальний механізм поділу — мітоз. Поява статевого розмноження призвела до виникнення мейозу — особливого типу клітинного поділу для утворення спеціалізованих статевих клітин.



Мал. 78.2. Хромосомний набір людини

Інтерфазний хроматин

Молекули ДНК в інтерфазному ядрі під світловим мікроскопом виглядають як безструктурне переплетіння ниток, що називають хроматином. Хроматин являє собою комплекс ДНК і білків. Білки хроматину виконують структурну й регуляторну функції. Структурні білки підтримують тривимірну структуру молекули ДНК, стабілізують її та захищають від пошкоджень. Регуляторні білки регулюють активність генів.

Нитки ДНК у хроматині певним чином упаковані. Розрізняють більш щільні (гетерохроматин) і менш щільні (еухроматин) ділянки хроматину, що мають різну функціональну активність (мал. 80.1).



Мал. 80.1. Еухроматин і гетерохроматин

Елементарною одиницею упаковки хроматину є нуклеосома. Нуклеосома є дископодібною частинкою, що складається з білків гістонів, навколо якої обмотана двоспіральна ДНК (мал. 80.2).

The left part of the image shows an electron micrograph of a DNA molecule with a series of dark, bead-like structures (nucleosomes) connected by a lighter line (linker DNA). A blue circle highlights one of these nucleosomes. The right part shows a 3D model of a nucleosome. It consists of a central core of histone proteins (labeled 'Гістони') around which a DNA double helix (labeled 'ДНК') is wrapped. The DNA enters and exits the core at the top and bottom. The space between two nucleosomes is labeled 'Лінкерна ділянка' (linker region). The entire unit is labeled 'Нуклеосома' (nucleosome).	Характеристики нуклеосом До складу нуклеосоми входить чотири пари гістонових білків H2A, H2B, H3 і H4 (всього вісім білків). Діаметр нуклеосомного диска становить 11 нм, а його товщина — 5,5 нм. ДНК робить 1,67 оберта (147 пар нуклеотидів) навколо нуклеосомного ядра. Нуклеосоми розташовані уздовж молекули ДНК на відстані 10—20 нм одна від одної. Ділянка ДНК між нуклеосомами називається лінкерною ДНК і становить 10—100 пар нуклеотидів. З лінкерною ДНК між двома сусідніми нуклеосомами зв'язується гістон H1.
--	--

Мал. 80.2.
Нуклеосомне укладання ДНК

2. У житті клітини розрізняють життєвий цикл і клітинний цикл.

Життєвий цикл значно довший – це період від утворення клітини внаслідок поділу материнської клітини і до наступного поділу або до загибелі клітини. Впродовж життя клітини ростуть, диференціюються, виконують специфічні функції.

Життя починається із заплідненої яйцеклітини, а потім починається процес поділу цієї клітини далі, поки не утвориться і не народиться організм. Але після народження процес поділу клітин продовжується. Тому сьогодні ми повинні з'ясувати завдяки чому організми ростуть, чому кількість хромосом у клітинах певного виду залишається однаковою до кінця життя?

Клітини розмножуються поділом. Клітинний цикл значно коротший. Це власне процес підготовки до поділу (інтерфаза) і сам поділ (мітоз).

Така періодизація (на життєвий і мітотичний цикли) досить умовна, оскільки життя клітини – безперервний, неподільний процес.

Клітинний цикл - це період існування клітини між початками її двох послідовних поділів, або від початку поділу до загибелі.



Тривалість клітинного циклу у різних організмів неоднакова: у бактерій усього 20-30 хв. за сприятливих умов, у клітин еукаріотів 10-80 годин і більше.

Складається клітинний цикл із інтерфази, мітозу та цитокінезу.

Схема життєвого циклу клітини

Інтерфаза. Період підготовки клітини до поділу. За цей час клітина росте, синтезує органічні речовини, запасає енергію у вигляді особливого типу хімічного зв'язку. Тривалість інтерфази не перевищує 90% часу всього клітинного циклу.

Інтерфазу поділяють на певні періоди:

Пресинтетичний період (G_1) настає одразу за поділом. Тут відбувається такі біохімічні процеси:

- клітина інтенсивно росте і може виконувати свою функцію. активно синтезує білки;
- збільшується об'єм цитоплазми та площа клітинних мембран;

Складає основну частину життя переважної більшості клітин. Набір генетичного матеріалу буде $2n2c$.

У синтетичному періоді (S):

- подвоюється ДНК, кожна хромосома внаслідок реплікації створює собі подібну структуру;
- проходить синтез РНК і білків, мітотичного апарату і точне подвоєння центріолей, які розходяться в різні боки, утворюючи два полюси. Набір генетичного матеріалу становить $2n4c$.

Далі настає **післясинтетичний період (G_2):**

- клітина запасається енергією (синтезує АТФ);
- синтезуються білки ахромати нового веретена, йде підготовка до мітозу;

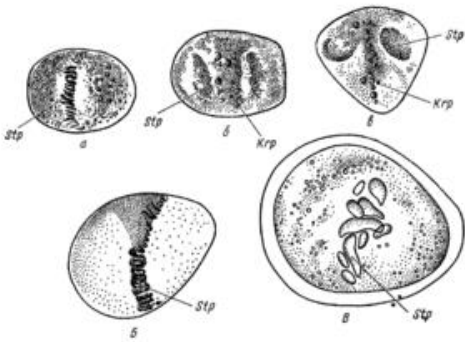
- клітина росте, починається конденсація і спіралізація хроматину. Генетичний матеріал складає $2n4c$.

3. Непрямий поділ клітини. Мітоз, його фази.

Після досягнення клітиною накопичення білків, подвоєння кількості ДНК, вона готова до поділу – **мітозу**. Він триває від кількох хвилин до 2-3 годин, і складається із **чотирьох фаз**. В кожну фазу відбуваються значні структурні зміни в клітині яка ділиться.

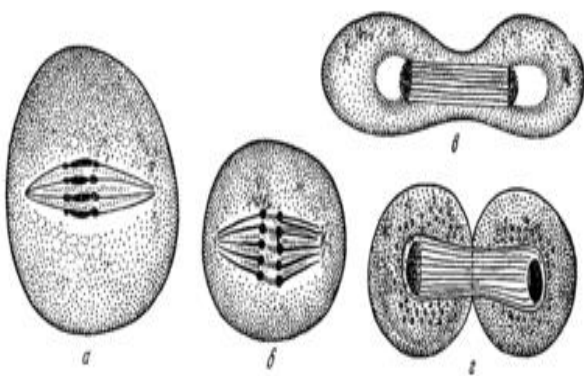
Вклад в вивчення цього питання внесли такі вчені:

Перші неповні описи, що стосуються поведінки і зміни ядер в клітинах, що діляться, зустрічаються в роботах учених початку 1870-х років. У роботі російського ботаніка **Е. Руссова** (1872 р.), чітко описані і зображені метафазні і анафазні пластинки, що складаються з окремих хромосом.

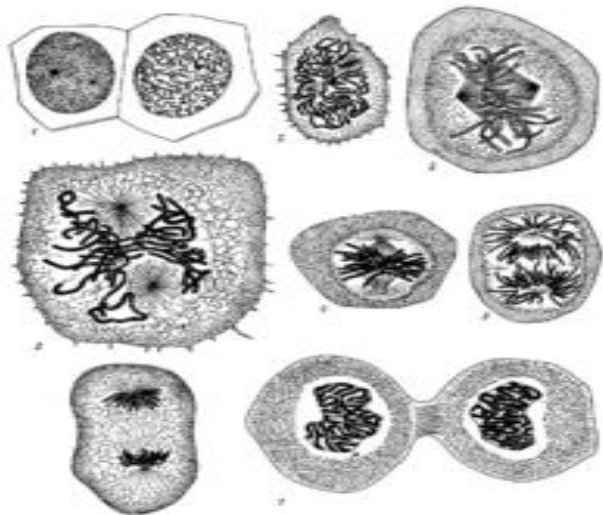


В 1874 р. московський ботанік **І.Чистяков** також спостерігав окремі фази клітинного ділення в спорах плаунів і хвощів.

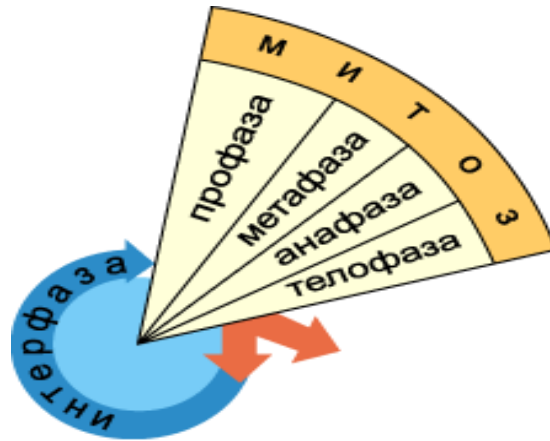
В 1876-1879 роках **Е. Стразбургер** вивчав мітоз в рослинних клітинах.



В 1882 році **В. Флеммінг** вивчав мітоз в клітинах тварин.

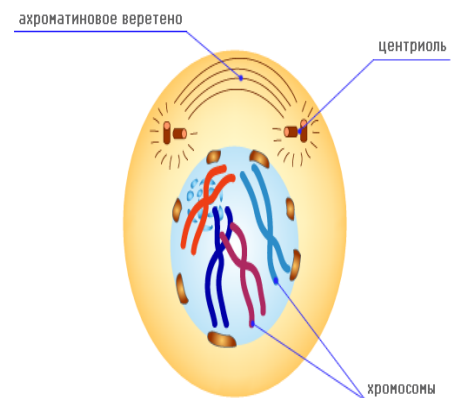
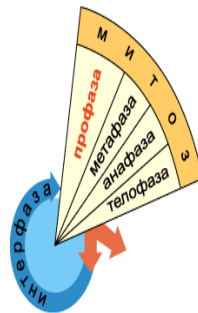


Мітоз – непрямий, або мітотичний поділ є переважаючим типом поділу еукаріотичних соматичних клітин і притаманний всім багатоклітинним організмам.



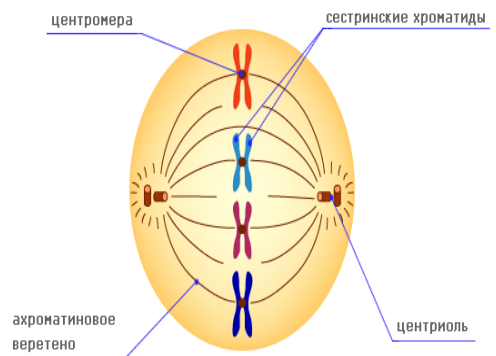
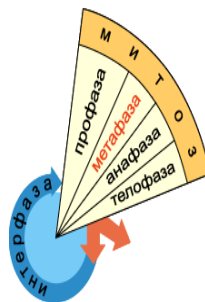
Профаза (найдовша)

- ✓ спіралізація ДНК, хроматиди вкорочуються і потовщуються, тобто спаралізуються, стають помітними під мікроскопом;
- ✓ зникають ядерця;
- ✓ розчиняється ядерна оболонка (хромосоми потрапляють в цитоплазму);
- ✓ центріолі клітинного центру розходяться до полюсів клітини; починає формуватися веретено поділу.



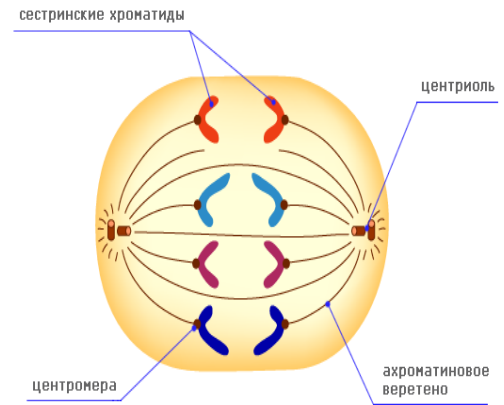
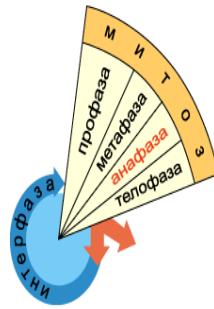
Метафаза (підготовка до поділу)

- ✓ формується веретено поділу (утв. з мікротрубочок);
- ✓ хроматини з'єднуються в області центромер і прикріплюються до мікротрубочок веретена поділу;
- ✓ хромосоми (складаються з двох хроматид) "шикуються" по екватору клітини.



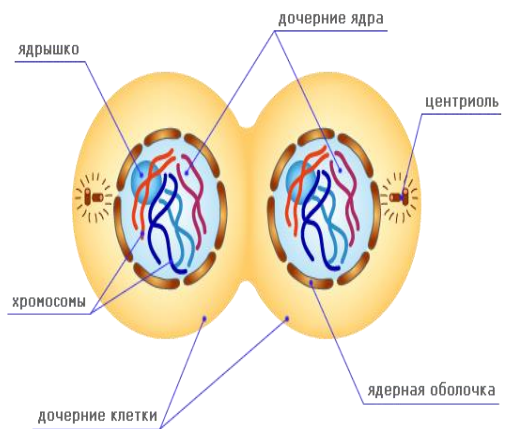
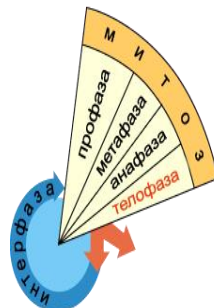
Анафаза (поділ клітини)

- ✓ нитки веретена поділу скорочуються і розтягують хроматиди по різних полюсах клітини;
- ✓ хроматиди стають самостійними дочірніми хромосомами;
- ✓ біля кожного полюса збирається диплоїдний (подвійний набір хромосом).



Телофаза

- ✓ відбувається деспіралізація (ДНК) хромосом;
- ✓ утворюється ядерна оболонка, утворюються ядерця;
- ✓ зникають нитки веретена поділу;
- ✓ формується клітинна перегородка, що ділить цитоплазму на дві дочірні клітини (цитокінез).



Загальна схема мітотичного поділу.

$2n$ — диплоїдне число хромосом,
 $2c$ — кількість ДНК у диплоїдному ядрі,
 $4c$ — подвоєна кількість ДНК в ядрі після реплікації

Морфологічна будова метакричної хромосоми

Як вам уже відомо, хромосоми на стадії метафази максимально щільно спаксовані (будову метакричної хромосоми ви вивчали раніше) (мал. 81.2). Вони компактно

Мал. 81.2. Класифікація хромосом за морфологією

розташовані в ділянці екватора клітини і найбільш зручні для вивчення під світловим мікроскопом. Саме на метафазних мікропрепаратах визначають каріотип.

Алкалоїд колхіцин порушує мітоз. Як лікарський препарат цей алкалоїд використовують для припинення болю при подагричному запаленні суглобів. Він здатен зупиняти процес мітозу. При припиненні дії колхіцину в клітинах утворюється нормальне веретено поділу, потім настає дійсна метафаза, в якій хромосоми розміщуються по екватору веретена і настає розходження хроматид.

Явище колхіцинової метафази перешкоджає утворенню мікротрубочок і утворенню мікротрубочок веретена поділу.

Біологічне значення мітозу.

Полягає в точному розподілі хромосом між дочірніми клітинами, що забезпечує утворення генетично ідентичних клітин. (Розподіл ДНК хромосом материнської клітини чітко розподіляється між двома дочірніми).

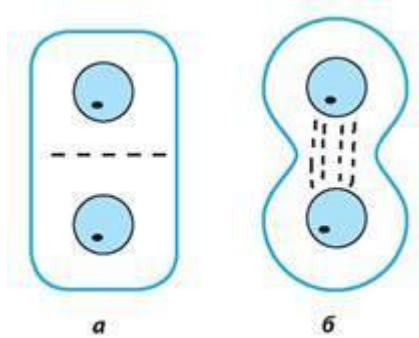
4. Цитокінез у рослин і тварин

Наступною стадією після поділу ядра є цитокінез — стадія поділу цитоплазми. Цей процес завершується утворенням двох окремих дочірніх клітин (мал. 82.1).

У клітинах тварин і рослин цитокінез відбувається по-різному. У тваринній клітині виникає перетяжка плазматичної мембрани, що оперізує клітину по екватору. Утворена борозна поступово поглиблюється і, врешті-решт, розділяє цитоплазми дочірніх клітин.

У рослин у центрі клітини утворюється клітинна пластинка, яка розростається зсередини і зрештою повністю розділяє дочірні клітини. Такий спосіб розділення цитоплазми зумовлений наявністю жорсткої клітинної стінки рослин. У деяких місцях між рослинними клітинами зберігаються цитоплазматичні канали і формуються плазмодесми.

Не завжди поділ ядра супроводжується поділом цитоплазми. У разі порушення цитокінезу формуються двоядерні або навіть багатоядерні клітини (симпласти). Із таких клітин складаються, наприклад, міцелій багатьох грибів та волокна скелетної мускулатури.



Мал. 82.1. Цитокінез у рослин (а) і тварин (б)

Дізнайтеся більше

Цитокінез можна блокувати штучно за допомогою деяких хімічних речовин, наприклад цитохалазіну. Так можна отримувати клітини з 4, 8 і більшим числом ядер.

Порушення процесу мітозу

Якщо нормальний перебіг мітозу порушується, то утворюються клітини з незбалансованим генетичним матеріалом.

Нерозходження сестринських хроматид в анафазі призводить до подвоєння числа хромосом — поліплоїдії. Таке можливо, якщо з певних причин не формується веретено поділу або ж не руйнуються когезини — білки, які утримують сестринські хроматиди разом.

Якщо хромосоми розходяться до полюсів клітини нерівномірно, спостерігається анеуплоїдія — нестача або наявність зайвих хромосом у дочірніх клітинах.

Часткова втрата генетичного матеріалу в ході мітозу можлива внаслідок фрагментації хромосом. Деякі хімічні речовини, віруси, йонізуюче випромінювання та інші чинники спричиняють розриви хромосом. Хромосомні фрагменти без центромерних ділянок не можуть прикріпитися до веретена поділу, не розподіляються до нових клітинних ядер і руйнуються в цитоплазмі.

У цілому порушення мітозу трапляються рідко і не перевищують 1 %, проте вони частішають з віком організму, у разі онкологічних захворювань, вірусних інфекцій, після радіоактивного опромінення.

Дізнайтеся більше

Деякі порушення мітозу використовують у практичних цілях. Хімічні речовини, що перешкоджають утворенню ниток веретена поділу (колхіцин, колцемід тощо), використовують для отримання поліплоїдних клітин. Поліплоїдизація є одним з методів створення високопродуктивних сортів сільськогосподарських рослин. Рослини з поліплоїдними клітинами мають більші розміри і запасують більше поживних речовин. Колхіцин використовують також у цитології для зупинки клітинного поділу на стадії метафази, щоб отримувати мікропрепарати клітин, які діляться.

Типи мітозу

Основна класифікація типів мітозу ґрунтується на стані ядерної оболонки в процесі поділу. За відкритого мітозу оболонка ядра руйнується, і веретено поділу утворюється в цитоплазмі. За закритого мітозу руйнування ядерної оболонки не відбувається, а утворення веретена і мітоз відбуваються всередині ядра.

Ще одна класифікація враховує симетрію веретена. За ортомітозу веретено симетричне щодо екватора клітини. За плевромітозу веретено складається з двох частин, які можуть розташовуватися під кутом одна до одної.

Для тварин і вищих рослин характерний відкритий ортомітоз. Еволюційно давнішим вважають закритий плевромітоз, наприклад, у дріжджових грибів (мал. 82.2).

Різновидом мітозу є ендомітоз, за якого хромосоми подвоюються, але поділ ядра і клітини не відбувається. У результаті в одному ядрі накопичуються численні копії хромосом. Якщо ці копії не розходяться, а залишаються зчепленими разом, утворюються гігантські політенні хромосоми (мал. 82.3).



Мал. 82.2. Типи мітозу



Мал. 82.3. Політенні хромосоми

Регуляція процесу мітозу

У запуску початкових стадій мітозу (профази й метафази) активну участь бере циклін-кіназний комплекс (білки циклін-кіназа й цикліни). Вони контролюють укладання і розпад веретена поділу, руйнування і відновлення ядерних оболонок. Крім того, відомі інші типи кіназ, які регулюють конденсацію хроматину, збирання веретена поділу і прикріплення до нього кінетохора, поділ сестринських хроматид.

Активація анафази відбувається під дією іншого білкового комплексу — циклосоми. Циклосома модифікує деякі білки так, що вони надалі руйнуються. Зокрема, активність циклосоми призводить до руйнування когезину — білка, який утримує сестринські хроматиди разом. Однією з головних «мішеней» циклосоми є цикліни.

Дізнайтеся більше

На контрольній точці клітинного циклу між інтерфазою та мітозом перевіряється результат реплікації ДНК: якщо реплікація не завершена або призвела до численних помилок, то мітоз блокується. Ще одна контрольна точка розділяє метафазу та анафазу: якщо веретено поділу має дефекти або до нього прикріплені не всі хромосоми, то анафаза блокується.

Ключова ідея

Цитокінез — стадія поділу цитоплазми, яка завершує поділ утворенням двох окремих дочірніх клітин. Усі стадії мітотичного поділу контролюються і регулюються спеціальними білковими комплексами. Унаслідок порушення процесів мітозу виникає незбалансований розподіл генетичного матеріалу (поліплоїдія, анеуплоїдія).

5. Проблеми порушення клітинного циклу

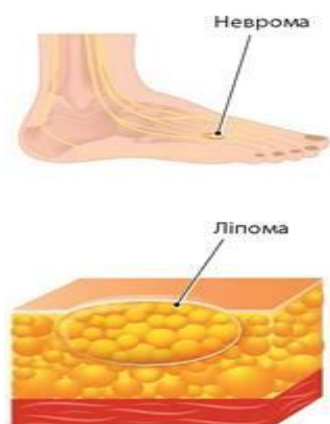
Клітинний цикл у клітин організму людини є стандартним для ссавців. У більшості випадків він відбувається без відхилення. А тривалість інтерфази може бути різною й залежить від рівня спеціалізації клітини. Чим більш спеціалізована клітина, тим більша тривалість інтерфази її клітинного циклу.

Але в деяких випадках клітинний цикл може порушуватися. Це може бути причиною нестандартних варіантів поділу клітини (наприклад, амітозу чи ендомітозу). Але найбільшою загрозою для організму людини є ситуація, коли клітина втрачає контроль над своїми поділами і починає інтенсивно ділитися. Такі порушення стають причиною виникнення пухлин різної природи. Такі пухлини поділяють на дві великі групи — доброякісні і злоякісні.

Доброякісні пухлини

Доброякісні пухлини — це новоутворення в організмі, що зумовлені неконтрольованим але обмеженим розмноженням клітин, які не поширюються в сусідні тканини (не здатні до інвазії) та віддалені органи (не утворюють метастази).

За структурою доброякісні пухлини схожі на тканини, з яких вони виникли (мал. 47.1). **Мал. 47.1. Доброякісні пухлини — ліпома та неврома**



Ступінь їхньої диференціації суттєво вища, ніж у клітин злоякісних пухлин. Доброякісні пухлини зазвичай ростуть повільно і обмежені сполучнотканинною капсулою. Вони не викликають болю, але можуть порушувати роботу органів, а в деяких випадках здатні перетворюватися на злоякісні пухлини.

Різноманітність доброякісних пухлин є високою. Їх класифікують за типом тканини, з якої вони утворилися.

Поширені типи доброякісних пухлин

Назва пухлини	Тканина, з клітин якої утворюється
Аденома	Залозистий епітелій
Епітеліома	Епітеліальна
Фіброма	Сполучна
Неврома	Нервова тканина
Остеома	Кісткова
Хондрома	Хрящова
Ліпома	Жирова
Лімфома	Лімфатична
Міома	М'язова

Найбільш поширеними доброякісними пухлинами є міома матки (розвивається з м'язів матки), папіломи (розвиваються на поверхні шкіри або слизових оболонках), аденоми (розвивається із залозистого епітелію різних залоз).

Для лікування доброякісних пухлин часто застосовують хірургічне втручання. У сучасній медицині популярною технологією лікування деяких типів таких пухлин стає кріокоагуляція, коли клітини пухлин руйнують за допомогою низьких температур.