

## Лекція № 1. Вступ. Біологічні основи життєдіяльності людини.

**Клітина є базовою структурно-функціональною одиницею** всіх живих організмів, включаючи людину.

**Структурна єдність:** Людське тіло складається з трильйонів клітин. Розуміння їхньої будови (органели, мембрана, ядро) пояснює, як формуються тканини, органи та системи органів, і як підтримується **цілісність організму**.

**Функціональна активність:** Всі життєві процеси – **метаболізм, енергообмін, ріст, розмноження, передача спадкової інформації** – відбуваються на клітинному рівні. Вивчення клітини розкриває **механізми життєдіяльності**

Вивчення **хімічного складу клітини** (білки, жири, вуглеводи, нуклеїнові кислоти, вода та мінеральні солі) є критично важливим, оскільки:

Кожна органела та структура клітини складається з певних хімічних сполук, які обумовлюють її **спеціалізовану функцію**. Наприклад, білки-ферменти каталізують хімічні реакції, а ДНК (дезоксирибонуклеїнова кислота) зберігає генетичну інформацію.

Розуміння ролі вуглеводів і ліпідів як джерел енергії та функції **мітохондрій** (енергетичних станцій клітини) пояснює, як організм отримує життєву силу.

Хімічні процеси в клітині забезпечують підтримку **внутрішнього середовища організму** (гомеостазу).

Актуальність теми має пряме відношення до **здоров'я людини та медицини**:

Більшість захворювань, включаючи рак, діабет, інфекційні та спадкові хвороби, починаються з **порушення структури або функції клітин** чи змін у їхньому хімічному складі.

Знання клітинної біології дозволяє розробляти **ефективні методи діагностики** (наприклад, гістологічні дослідження) та **цільові лікарські препарати**, які впливають на конкретні клітинні механізми (наприклад, хіміотерапія, що блокує поділ ракових клітин).

Розуміння клітинних процесів є основою для **регенеративної медицини, клонування, генної інженерії** та створення **біологічно активних добавок**.

Отже, вивчення будови та хімічного складу клітини — це ключ до розуміння сутності життя, норми та патології людського організму, а також перспективи розвитку сучасної медицини.

### **Навчальна мета:**

#### **Знати:**

1. предмет і завдання біології, значення її для майбутньої практичної діяльності;
2. рівні організації живої матерії;
3. структуру та функції компонентів клітини;
4. хімічний склад клітини. Неорганічні речовини та їх значення. Органічні сполуки: білки, ліпіди, вуглеводи, нуклеїнові кислоти, АТФ та їх значення.

#### **Здобувачі освіти мають бути поінформовані про:**

1. Історію розвитку біології.

#### **Компетентності, якими повинен оволодіти здобувач освіти:**

##### **Загальні компетентності (ЗК)**

ЗК. 2. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

ЗК. 4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК. 5. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК. 6. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

##### **Спеціальні (фахові) компетентності (СК)**

СК. 8. Здатність до використання інформаційного простору та сучасних цифрових технологій в професійній медичній діяльності.

СК. 12. Здатність до безперервного професійного розвитку фахівців у сфері охорони здоров'я (освіта впродовж життя).

## План

1. Медична біологія як наука про основи життєдіяльності людини.
2. Значення біологічних знань для розуміння суті хвороб, охорони здоров'я людей.
3. Біологічна природа людини.
4. Клітинні мембрани. Будова та функції.
5. Цитоплазма. Органели цитоплазми. Будова та функції.
6. Ядро. Будова та функції.
7. Хімічний склад клітин.

### *1. Медична біологія як наука про основи життєдіяльності людини.*

Біологія (від грец. *bios* - життя, *logos* - наука) - наука про життя, про загальні закономірності існування і розвитку живих істот: життєві процеси, що в них відбуваються, хід їх життєвих циклів, взаємозв'язок з оточуючим середовищем, походження, історичний та індивідуальний розвиток живих організмів.

Термін "біологія" був вперше вжитий в 1797р. німецьким професором анатомії Теодором Рузом(1771-1803), пізніше 1800р. термін застосував професор Дерптського університету К. Бурдах. ( 1776-1847), а в 1802 р. - Ж. Б. Ламарк (1744-1829) і Л. Тревіранус (1779-1864).

Біологія як наука виникла за необхідності пізнання людиною оточуючої природи, у зв'язку з матеріальними умовами життя суспільства, розвитку виробничих відносин, медицини, практичних потреб людини.

Теоретичний фундамент біології був закладений еволюційним вченням Дарвіна, клітинною теорією Шванна і целюлярною патологією Вірхова.

Сучасна біологія - це складний високодиференційований комплекс фундаментальних і прикладних досліджень живої природи. Спираючись на новітні досягнення фізики, хімії, техніки, вдалося розв'язати чимало медико-біологічних проблем, проникнути у глибини клітини, отримати принципово нові відомості про процеси, що розгортаються в клітині за умов норми і при патології.

Складовою біології є медична біологія - наука про людей, їх походження, еволюцію, географічне поширення, чисельність людських популяцій, структуру в просторі і часі.

Медична біологія вивчає спадковість людини, її генетичну систему, генотипні та індивідуальні відмінності людей, їх екологію, фізіологію, особливості поведінки.

## ***2.Значення біологічних знань для розуміння суті хвороб, охорони здоров'я людей, науково обґрунтованого ставлення до природи та її охорони.***

Сучасні наукові уявлення про оточуючий світ виникали внаслідок створення і використання нових методів дослідження. Завдяки запровадженню новітніх технологій вивчено гени, фізичну і хімічну будову високополімерних молекул, найдрібніші внутрішньоклітинні утворення. Стало можливим розкриття складних біологічних явищ (обміну речовин, спадковості, життєвої діяльності), виділення окремих складових цих явищ та їх аналіз.

Вивчення різноманітних форм і рівнів організації живого дозволяє розкрити та поглибити знання щодо структурних, функціональних, генетичних та інших особливостей людського організму. Біологія людини пише портрет людства на тому ж полотні, на якому змальовані представники тваринного царства. Людина невіддільна від природи.

З перевідкриттям законів Г. Менделя у 1900 р. виникла можливість систематизації спадкових хвороб, а успадкування моногенних хвороб безперервно підтверджує закони Г. Менделя. Вивчення геному бактерій, дрозофіли, миші сприяло їх запровадженню в генетику і реалізації програми "Геном людини", складено каталог генів людини, сформульовано поняття про генетичну гетерогенність спадкових хвороб та ін.

Доведено, що мутагенні фактори (фізичні, хімічні, біологічні) викликають схожі зміни генетичного матеріалу і є етіологічними чинниками геномних, хромосомних і генних мутацій. Несприятливий вплив мутацій може призвести до загибелі на різних стадіях онтогенезу (внутрішньоутробна загибель, рання постнатальна смертність та ін.) Близько 50 % всіх спонтанних абортів зумовлено генетичними факторами.

Наукові знання дозволяють розкрити взаємодію біологічних і соціальних факторів у виникненні патології людини. Людина зазнає негативного впливу нових факторів навколишнього середовища, які можуть змінити рівень мутаційного процесу або змінити прояв генів, що в кінцевому результаті призводить до появи спадкової патології.

Захистити геном людини від шкідливих антропогенних впливів різного походження - одне з завдань медичної біології.

Застосування методів клітинної інженерії і досягнень щодо використання генів і клітин рідкісних тварин і рослин, створення відповідних банків генетичного матеріалу дозволить зберегти унікальний живий світ нашої планети.

### **3. Біологічна природа людини.**

У людини поєднуються риси біологічної і соціальної істоти як об'єктивний результат антропогенезу та історії людства.

Біологічні процеси, які відбуваються в організмі людини, підпорядковані механізмам функціонування на всіх рівнях організації життя, забезпечують різні ланки життєдіяльності та розвитку і складають біологічну сутність людства. Крім схожості основних рис морфології, функції різних систем організму людини і тварин, зокрема ссавців, тотожність спостерігається і на рівні розвитку патологічних процесів. Так, мутації у тварин за проявами схожі на спадкові хвороби людини (гемофілія, ахондроплазія, м'язова дистрофія та ін.) Людина входить в систему органічного світу.

Проте в процесі антропогенезу сформувалася соціальна сутність людей, історичні напрямки розвитку людства.

У людини як соціальної істоти втратилася вирішальна роль природного добору у видоутворенні, розширилося спадкове розмаїття людських популяцій, збільшився їх поліморфізм. Масштабності таких змін серед тваринного світу не спостерігається.

Поєднання соціальної сутності людини та збереження біологічних рис її будови і функцій призвело до змін індивідуального розвитку людей, до відмінності людини як істоти від інших тварин. Соціальна програма людства реалізується в процесі виховання та навчання людини, формування соціальних груп та екологічних спільнот людей.

### **4. Клітинні мембрани. Будова та функції.**

Сучасна цитологія розглядає біомембрани як один з основних компонентів клітинної організації, як основу структури і функцій всіх органів і тканин. Більшість клітинних органел мають у своїй основі мембранні структури. Вони характерні для ендоплазматичної сітки, пластинчастого комплексу Гольджі, оболонки і крист мітохондрій, лізосом, вакуоль, пластид, ядерної оболонки і зовнішньої клітинної мембрани.

Мембрани - високовпорядковані, складні молекулярні системи, відповідальні за основні процеси життєдіяльності клітин. Наприклад, мембрани поділяють вміст клітини на відсіки (*компартменти*), завдяки чому в клітині одночасно можуть перебігати різні, навіть антагоністичні, процеси; регулюють метаболічні потоки; підтримують різницю концентрацій речовин (іонів, метаболітів) шляхом переміщення; створюють різницю електричних потенціалів; беруть участь у процесах синтезу і каталізу та ін. Крім того, мембрани є основою для точного розміщення ферментів, а тому зумовлюють впорядкованість обмінних реакцій. Так, в ендоплазматичній сітці відбувається синтез білків, жирних кислот і фосфоліпідів. У

мітохондріях здійснюється цикл Кребса, окисне фосфорилування, окиснювання жирних кислот.

### Структура і властивості біомембран.

Відповідно до рідинно-мозаїчної моделі будови, клітинні мембрани - це напівпроникний ліпідний бішар із вбудованими в нього білками (рис. 1).

Мембрани різних органел мають неоднаковий ліпідний і білковий склад, що забезпечує їх функції. Кожний різновид мембран містить близько 50 % білків. Мембрани мають також значний відсоток вуглеводів. Наприклад, мембрана еритроцитів складається з 40 % ліпідів, 52 % білків і 8 % вуглеводів.

Білки не утворюють шари, а розташовані нерівномірно у вигляді мозаїки з глобул; при цьому одні з них знаходяться тільки на поверхні, інші занурені в ліпідну фазу частково або повністю, іноді пронизують її наскрізь.

Ліпідний бішар являє собою рідину, в котрій окремі молекули ліпідів здатні дифундувати в межах свого моношару, але можуть іноді переміщатися з одного шару в другий. В'язкість і рухливість ліпідного бішару залежить від його складу і температури.

Цитоплазматична мембрана зовні вкриває клітину і є важливою ланкою в системі біомембран, необхідною умовою існування будь-якої клітини, її поява була однією з умов виникнення життя. Цитоплазматична мембрана має той самий принцип будови, як і інші мембрани. Однак її будова є більш складною, тому що вона є поліфункціональною системою і виконує багато загальних, важливих для всієї клітини функцій. До складу цитоплазматичних мембран, крім ліпідів і білків, входять також молекули гліколіпідів і глікопротеїдів із розгалуженими вуглеводними ланцюгами. Ці розгалужені ланцюги на поверхні клітини переплітаються один з одним, створюють ніби каркас із вплетеними в нього молекулами білків (глікокалікс), що складається з полісахаридів, ковалентне зв'язаних із глікопротеїдами, і гліколіпідами, плазмолемі.

Функції глікокаліксу: а) міжклітинне розпізнавання; б) міжклітинна взаємодія; в) пристінкове травлення.

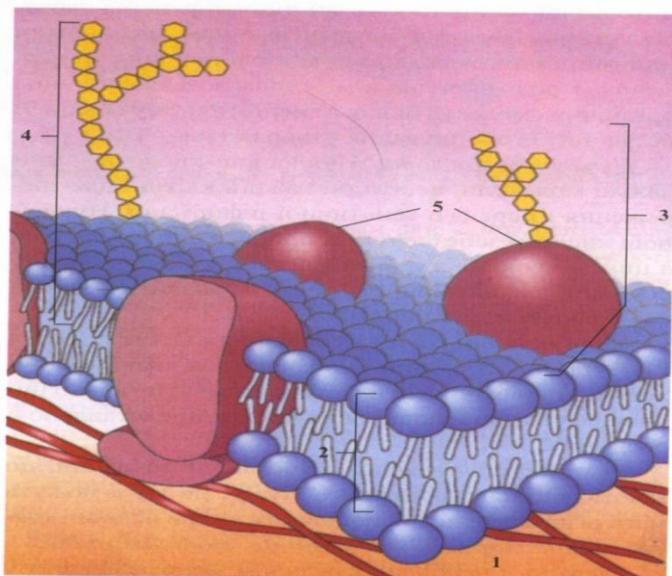


Рис. 1 Будова клітинної мембрани:

1. Цитоплазма;
2. Ліпідний бішар;
3. Глікопротеїн;
4. Гліколіпід;
5. Протеїни.

Таблиця 1. Функції біологічних мембран.

Визначення функції	Характеристика функції
Захисна	Мембрана обмежує цитоплазму від міжклітинного простору, а більшість клітинних органоїдів - від цитоплазми. Захищає від проникнення сторонніх речовин, підтримує гомеостаз клітини.
Формування гідрофобної зони	Гідрофобна зона є основним бар'єром, що запобігає проникненню гідрофобної зони більшості речовин. Ряд найважливих метаболічних процесів перебігає тільки в неполярному середовищі
Транспортна	Перенесення речовин через біомембрани. Мембрана забезпечує вибіркове переміщення молекул і іонів; створює трансмембранну різницю електричного потенціалу. Основні типи перенесення речовин: 1) пасивний (осмос, проста дифузія, полегшена дифузія); 2) активне переміщення речовин проти градієнта концентрацій; 3) ендо- й екзоцитоз
Компартментація клітини	Система внутрішніх мембран розділяє вміст клітини на відсіки (компартменти), що мають специфічну структуру. У них зосереджені визначені молекули, необхідні для виконання певних функцій. Усі мембранні органели є внутрішньоклітинними компартментами
Утворення органел	Мембранні органели забезпечують одночасний перебіг багатьох різноспрямованих метаболічних процесів
Рецепторна	Наявність у мембрані різноманітних рецепторів, що сприймають хімічні сигнали від гормонів, медіаторів та інших біологічно активних речовин, зумовлює здатність змінювати метаболічну активність клітини
Утворення	Біомембрани можуть створювати такі види контактів:

міжклітинних контактів	1) простий контакт (зближення мембран клітин на відстань 15-20 нм); 2) щільний замикаючий контакт, непроникний для макромолекул та іонів (злиття ділянок плазмолем сусідніх клітин); 3) десмосоми (ділянки ущільнення між клітинами, що утворюють механічні зв'язки); 4) щілинний контакт; 5) синаптичний контакт (нервові клітини). Контакти важливі для взаємодії клітин і утворення тканин.
------------------------	---

## 5. Цитоплазма. Органели цитоплазми. Будова та функції.

Цитоплазма складає основну масу клітини - це весь її внутрішній вміст, за винятком ядра. Містить 75-85 % води, 15-25 % білків і багато інших речовин, але в менших кількостях. При вивченні клітини за допомогою світлового мікроскопа цитоплазма є гомогенною, безбарвною, прозорою, в'язкою рідиною. Проте електронний мікроскоп дозволив виявити складну багатокомпонентну, поліфункціональну, високовпорядковану структуру цитоплазми. Цитоплазма складається із *цитозолю* (цитоплазматичний матрикс), внутрішньоклітинних *органел і включень*.

Клітинні органели - диференційовані ділянки цитоплазми, що мають специфічний молекулярний склад. Це складні, високовпорядковані біологічні системи макромолекул, що утворюють певну просторову структуру, здатні до виконання спеціальних клітинних функцій. Клітини тварин містять багато внутрішньоклітинних мембран. Тому майже половина всього об'єму клітин укладена в окремі внутрішньоклітинні відсіки (компартменти), що називаються "органелами". Інший внутрішньоклітинний простір зайнятий цитозолем.

Класифікація органел. Клітинні органели умовно поділяють на мембранні, що оточені типовою біомембраною, і немембранні, що не мають такої оболонки.

*Мембранні:* 1) ендоплазматична сітка: а) зерниста; б) гладенька; 2) комплекс Гольджі; 3) лізосоми; 4) пероксисоми; 5) вакуолі; 6) мітохондрії; 7) пластиди (тільки в рослинних клітинах).

*Немембранні:* 1) рибосоми; 2) центріолі; 3) мікротрубочки; 4) мікрофіламенти.

Відповідно до виконуваних функцій розрізняють *органели загального і спеціального призначення*.

Органели загального призначення зустрічаються у всіх еукаріотичних клітинах і належать до загальних структур.

Спеціальні органели характерні тільки для певного виду клітин, що виконують специфічну функцію. Наприклад, у деяких найпростіших - це джгутики, скоротлива вакуоля, ундулююча мембрана. У м'язових клітинах - скоротливе волокно; нейрони мають довгі відростки, сперматозоїд - акросому тощо.

Ендоплазматична сітка (ЕПС). ЕПС виявлена у всіх еукаріотичних клітинах, відсутня тільки в прокаріотів, у сперматозоїдах і зрілих еритроцитах. ЕПС утворена сіткою мембранних трубочок, цистерн і овальних везикул. ЕПС структурно зв'язана з оболонкою ядра. Розрізняють два типи ЕПС: гладеньку і зернисту, хоча вони структурно пов'язані між собою. Зерниста ЕПС на своїй поверхні містить рибосоми, котрих немає на поверхні гладенької ЕПС. ЕПС утворює сітку мембранних каналів, що пронизують цитоплазму.

Ендоплазматична сітка має значення в процесах внутрішньоклітинного обміну, оскільки збільшує площу внутрішніх поверхонь клітини, поділяє її на відсіки, що відрізняються за фізичним станом і хімічним складом, забезпечує ізоляцію ферментних систем, що, у свою чергу, необхідне для послідовного вступу в узгоджені реакції. Безпосереднім продовженням ендоплазматичної сітки є ядерна мембрана, що відмежовує ядро від цитоплазми, так і зовнішня мембрана (*плазмолели*), розташована на периферії клітини. Мембранні системи дуже лабільні і можуть змінюватися у залежності від фізіологічного стану клітини, характеру обміну, при рості та диференціюванні.

Зерниста ЕПС добре розвинена у клітинах печінки, підшлункової залози, секреторних клітинах, де утворюється білковий секрет.

Загальні функції ЕПС. Взаємозалежна система гладенької та зернистої ЕПС працює узгоджено і виконує ряд загальних інтегральних функцій: 1) мембрани ЕПС відокремлюють свій специфічний вміст від цитозолу, утворюють спеціальний ком-партмент; 2) у матриксі ЕПС відбувається нагромадження, збереження і модифікація синтезованих речовин; 3) ЕПС є важливою складовою системи внутрішньоклітинних мембран, забезпечує транспорт синтезованих речовин по внутрішніх порожнинах або за допомогою везикул у різні ділянки клітин; 4) структура ЕПС утворює велику мембранну поверхню всередині клітини, що важливо для багатьох метаболічних реакцій; 5) мембранна система пронизує всю клітину і виступає в якості "внутрішнього скелету".

Комплекс Гольджі. Комплекс Гольджі (КГ), утворений комплексом із десятків сплюснених дископодібних мембранних цистерн, мішечків, трубочок і везикул, у значній кількості зустрічається в секреторних клітинах. Внутрішній міжмембранний простір заповнений матриксом, що містить спеціальні ферменти.

*Функції комплексу Гольджі:* 1) нагромадження і модифікація синтезованих макромолекул; 2) утворення складних секретів та секреторних везикул; 3) синтез і модифікація вуглеводів, утворення глікопротеїдів; 4) КГ відіграє важливу роль у відновленні цитоплазматичної мембрани шляхом утворення мембранних везикул і наступного злиття з клітинною оболонкою; 5) утворення лізосом; 6) утворення пероксисом.

*Спеціальні функції комплексу Гольджі:* 1) формування акросоми сперматозоїда під час сперматогенезу; 2) вітелогенез - процес синтезу і формування жовтка в яйцеклітині.

Лізосоми. Лізосоми - це невеликі (0,2-0,8 мкм), вкриті мембраною, круглі тільця. Зустрічаються вони у всіх клітинах рослин і тварин, можуть локалізуватися в будь-якому місці клітини. Вміст лізосом складають різні класи гідролітичних ферментів, наприклад, *протеази, нуклеази, ліпази, фосфоліпази* та ін. Всього нараховується до 40 різних ферментів.

Ці ферменти руйнують великі молекули складних органічних сполук, що надходять до клітини (білки, нуклеїнові кислоти, полісахариди). У лізосомах зазнають руйнації мікроорганізми і віруси. Ферменти лізосом перетравлюють зруйновані структури або цілі клітини. Ці процеси називаються *аутофагією*.

Пероксисоми. Пероксисоми - маленькі сферичні тільця, вкриті мембраною. Виявляються майже у всіх клітинах еукаріотів. Їх діаметр становить 0,3-1,0 мкм, утворюються в комплексі Гольджі. Пероксисоми містять в основному ферменти для руйнації пероксиду водню. Пероксид водню, що утворюється в результаті окиснення деяких органічних речовин, є токсичним для клітини і тому негайно руйнується каталазою Пероксисоми:

Мітохондрії - це органели, в яких енергія хімічних зв'язків органічних речовин перетворюється на енергію фосфатних зв'язків АТФ. Мітохондрії-досить великі овальні органели (0,2-2,0 мкм), вкриті двома мембранами. Вони зустрічаються майже в усіх еукаріотичних клітинах, за винятком анаеробних найпростіших і еритроцитів. Мітохондрії хаотично розподілені по цитоплазмі, хоча частіше виявляються біля ядра або в місцях із високими потребами енергії. У м'язових клітинах вони розташовані між міофібрилами. Органели можуть змінювати свою структуру і форму, здатні переміщуватися всередині клітини. Кількість мітохондрій може змінюватися залежно від активності клітини від кількох десятків до кількох тисяч.

Рибосоми - невеликі гранулоподібні сферичні тільця, розміром від 15 до 35 нм. Рибосоми складаються із двох субодиниць, розташовані в цитоплазматичному матриксі або зв'язані з мембранами ендоплазматичної сітки.

Субодиниці рибосом утворюються в ядерці, а потім через ядерні пори окремо одна від одної надходять до цитоплазми, їх кількість у цитоплазмі залежить

від синтетичної активності клітини і може складати від сотні до кількох тисяч на одну клітину, їх функцією є синтез білків. Найбільша кількість рибосом виявлена в клітинах, що інтенсивно синтезують білки. Ці органели зустрічаються також у мітохондріальному матриксі й хлоропластах.

Клітинний центр (центросома) - органела, що складається з двох дрібних утворень: *центріоль* і *променевої сфери* навколо них. За допомогою електронного мікроскопа встановлено, що кожна центріоля - це циліндричне тільце довжиною 0,3-0,5 мкм і діаметром близько 0,15 мкм. Стінки циліндра складаються з 9 пар паралельно розташованих мікротрубочок, що утворені білками. Центріолі розміщуються перпендикулярно одна до одної.

Активна роль клітинного центра виявляється при поділі клітини. Центріолі подвоюються і розходяться у протилежні боки, формують полюси клітини, що ділиться. Зазначені структури утворюють веретено поділу.

Центріолі беруть участь в утворенні мікротрубочок цитоскелета. Вони також формують *базальне тіло*, що лежить в основі джгутиків.

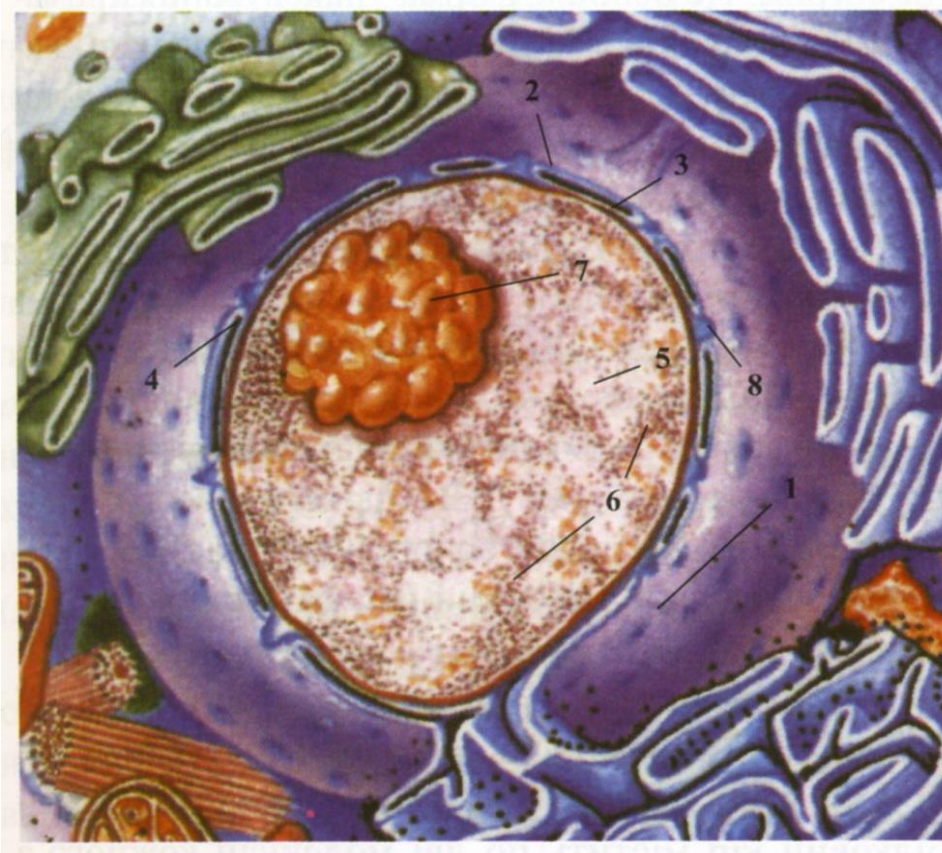
Мікротрубочки і мікрофіламенти. Мікротрубочки і мікрофіламенти - це немембранні органели, які побудовані з скоротливих білків (тубуліну, актину, міозину тощо). Мікротрубочки циліндричної форми, порожнисті, діаметром 10-25нм. Вони беруть участь у формуванні веретена поділу, у внутрішньоклітинному транспорті речовин, входять до складу війок, джгутиків, центріоль.

Мікрофіламенти причетні до формування цитоскелета клітини. Розташовані ці органели під плазматичною мембраною. Пучечки мікрофіламентів одним кінцем прикріплюються до мембрани, а іншим -до різних органел, молекул біополімерів. Вони беруть участь у зміні форми клітини, наприклад, під час її руху. У м'язових клітинах пучечки мікрофіламентів розміщені вздовж їхньої осі (волокна актину та міозину).

## **6. Ядро. Будова та функції.**

В еукаріотичних клітинах генетичний матеріал зосереджений в ядрі. Ядерна оболонка відокремлює генетичний матеріал і молекулярно-генетичні процеси від цитоплазми, забезпечує автономність і незалежність спадкових механізмів. Більшість клітин містить тільки одне ядро. При виділенні ядра клітина не може довго існувати, так само як і ядро, виділене з клітини, гине. Ядро звичайно локалізується в центрі клітини.

Структура ядра. Ядро складається з декількох компонентів, що виконують різні функції: *ядерна оболонка, каріоплазма, хроматин, ядерце*



**Рис.2 Будова ядра:** 1 - ядерна оболонка; 2 - зовнішня мембрана; 3 - внутрішня мембрана;  
4 - перинуклеарний простір; 5 - каріоплазма; 6 - хроматин; 7- ядерце; 8 - ядерні пори.

*Основні функції оболонки:* 1) створення компартмента клітини, де сконцентрований генетичний матеріал і умови для його збереження і подвоєння; 2) відокремлення від цитоплазми, в якій інакший вміст речовин і проходять інші процеси; 3) підтримання форми й об'єму ядра, або їх змін; 4) регуляція потоків речовин всередину і назовні ядра. З ядра крізь пори в цитоплазму надходять різні види РНК і су-бодиниці рибосом, а всередину ядра переносяться необхідні білки, вода, іони тощо.

*Функції ядра:* 1) збереження спадкової інформації в молекулах ДНК; 2) реалізація спадкової інформації шляхом регуляції синтезу білків. Завдяки цьому підтримується структурна впорядкованість клітин, регулюються їх метаболізм, функції та процеси поділу; 3) передача спадкової інформації наступним поколінням внаслідок реплікації ДНК шляхом утворення хромосом та їх поділу. Найважливіші молекулярно-генетичні процеси, що відбуваються в ядрі: реплікація ДНК, транскрипція всіх видів РНК, процесинг, утворення рибосом.

Генетичний матеріал в інтерфазному ядрі знаходиться у вигляді *хроматинових ниток*. Переплітаючись всередині ядра, вони утворюють хроматинову сітку. Кількість хроматинових ниток відповідає ди-плоїдному набору хромосом. Хроматинові нитки -це комплекс ДНК і білків у співвідношенні 1:1.

Хроматин виконує такі функції: 1) збереження генетичної спадкової інформації у вигляді чіткої послідовності нуклеотидів ДНК, стабілізованої білками і спеціальним упакуванням; 2) перенесення спадкових характеристик від батьків до нащадків за допомогою формування хромосом; 3) забезпечення росту клітин, підтримка їх будови та функцій шляхом керування синтезом структурних білків; 4) контроль метаболізму шляхом регуляції утворення необхідних ферментів; 5) формування ядерця, де утворюються рибосоми.

У середині інтерфазного ядра визначаються щільні, сильно забарвлені, округлі, гранулярні утворення, які не мають мембрани і їх вміст знаходиться в безпосередньому контакті з нуклеоплазмою, - це *ядерця*.

Основні функції ядерця:

- синтез рибосомної РНК;
- утворення субодиниць рибосом;
- синтез ядерних білків (пістонів).

Передумовою відкриття клітини був винахід мікроскопа й використання його для дослідження біологічних об'єктів. У 1665 р. англійський фізик Р. Гук (1635-1703), розглядаючи під мікроскопом зріз корка, виявив, що він складається з комірок, які нагадують бджолині стільники і назвав їх *клітинами*. Таку ж будову Р. Гук відзначив у серцевині бузини, очерету та деяких інших рослин. У другій половині XVII ст. з'явилися роботи італійського вченого М. Мальпігі (1628-1694) та англійського вченого М. Грю (1641-1712), які підтвердили клітинну будову багатьох рослинних об'єктів. Голландський вчений А. Левенгук (1632-1723) вперше виявив у воді одноклітинні організми.

Увагу мікроскопістів привертала насамперед клітинна оболонка. Лише у другому десятиріччі XIX ст. дослідники звернули увагу на напіврідкий, драглистий вміст, що заповнює клітину. Чеський вчений Я. Пуркіньє (1787-1869) назвав цю речовину *протоплазмою*. Однак продовжувало існувати переконання, що оболонка, а не протоплазма, є основною, найголовнішою частиною клітини. У 1831 р. англійський ботанік Р. Броун (1773-1858) виявив ядро. Це відкриття було важливою передумовою для встановлення подібності між клітинами рослин і тварин. До 30-х років XIX ст. нагромадилося чимало праць про клітинну будову організмів. Загальновизнаною стала уява про клітину як елементарну мікроскопічну структуру рослин. Німецький ботанік М. Шлейден (1804-1881) першим дійшов висновку, що будь-яка рослинна клітина має ядро.

Спираючись на досягнення фізики, хімії, математики та інших точних наук, крім світлової мікроскопії, у вивченні структури та функціонування клітини застосовують новітні методи дослідження. До них належать: електронна мікроскопія, центрифугування, рентгеноструктурний аналіз, метод ауторадіографії, полімеразної ланцюгової реакції та ін.

Електронна мікроскопія. Дрібні клітинні структури або окремі молекули вивчають за допомогою електронного мікроскопа, який дозволяє спостерігати об'єкти розміром в 1 нм. їх розглядають на екрані і фотографують.

Цитохімічні і цитоспектрофотометричні методи дослідження. Для визначення розташування і кількісного вмісту в клітині хімічних речовин застосовують метод цитофотометрії. Дослідження проводять у видимій і ультрафіолетовій ділянках спектра. Попередньо додають спектральні барвники - флуорохроми, які сприймаються клітинними структурами. Останні набувають яскравого забарвлення. Так визначають нуклеїнові кислоти, їх кількість, місце розташування білків, вітамінів, металів тощо.

Швидкісне центрифугування. Для виділення і вивчення часток, що входять до складу цитоплазми, за допомогою ультрацентрифуг застосовують метод швидкісного центрифугування (15-40 тис. обертів за 1 хв). Цим методом осаджують спочатку клітинні ядра, потім мітохондрії, рибосоми, полісоми та ін.

Метод рентгеноструктурного аналізу. Використовуючи рентгенівські промені, вивчають молекулярну структуру речовин, які входять до складу клітин, розміри і просторове розміщення молекул і атомів. Цим методом була доведена структура молекули ДНК.

Метод ауторадіографії, або мічених атомів. В організм вводять ізотопи з  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -випромінюванням, які включаються в певні структури клітин. Так відслідковують місце розташування та переміщення їх в клітинах і тканинах. Цим методом досліджують біохімічні процеси як у клітині, так і в окремих її частинах.

Метод полімеразної ланцюгової реакції. Він дозволяє виявити наявність або відсутність певних послідовностей ДНК.

Жива клітина містить обмежений набір хімічних елементів, причому шість із них складають більше 99 % від її загальної маси: С, Н, N, О, Р, S. З атомів цих елементів утворені практично всі молекули клітин різних організмів.

Всі хімічні елементи, які входять до складу клітин, можна поділити на чотири групи:

1. Органогенні - це кисень, водень, вуглець і азот, їх загальний вміст складає 95-98 %.

2. Макроелементи - кальцій, калій, фосфор, сірка, кремній, натрій, хлор, магній, залізо, які містяться в десятих частках відсотка.

3. Мікроелементи - кобальт, цинк, мідь, марганець, хром, бром, бор, йод, літій, радій, їх вміст складає близько 0,01 %.

Вода виконує багато важливих функцій у клітині:

- 1) це добрий розчинник;
- 2) вона визначає фізичні властивості клітини -об'єм, внутрішньоклітинний тиск;
- 3) вода є середовищем для хімічних реакцій;
- 4) забезпечує в клітині терморегуляцію (за рахунок високої теплоємності) тощо.

Клітини побудовані із специфічного і водночас обмеженого набору однакових для усіх видів живих істот великих молекул, що містять вуглець. Завдяки малим розмірам і вмісту на зовнішній оболонці чотирьох електронів атом вуглецю може утворювати чотири міцні ковалентні зв'язки з іншими атомами.

Важлива здатність атомів вуглецю з'єднуватись один з одним у ланцюги, кільця й утворювати великі і складні молекули. Основні групи цих молекул є відносно простими вуглеводами, жирними кислотами, амінокислотами і нуклеотидами.

Вуглеводи є найважливішим джерелом енергії для клітин, вони запасують її, створюють резервні полісахариди. Головна функція жирних кислот - утворення клітинних мембран і участь в енергетичному обміні. Полімери, побудовані з амінокислот, представлені різноманітними і багатофункціональними молекулами білків. Нуклеотиди відіграють головну роль в акумуляції і перенесенні енергії (АТФ, НАД), однак основне значення полягає в тому, що вони є субодиницями інформаційних молекул РНК і ДНК.

**Білки.** Клітини значною мірою складаються з білків, на яких припадає більше половини маси сухої речовини клітини. Білки визначають структуру і форму клітини; крім того, вони є рецепторами молекулярного розпізнавання і каталізу. Білки безпосередньо беруть участь у процесах обміну речовин і виконанні функцій клітиною.

Білки побудовані з 20 різних амінокислот, кожна з яких має хімічну індивідуальність. Комбінації з 20 амінокислот можуть утворювати незліченну кількість різних за структурою і функціями білків.

Білкові молекули утворюються за допомогою *пептидних зв'язків* між амінокислотами. Кілька амінокислот, об'єднаних пептидними зв'язками, називають поліпептидами.

Прості білки утворені тільки амінокислотами. До складу складних білків можуть входити ліпіди (*ліпопротеїди*), вуглеводи (*глікопротеїди*). Багато ферментів містять в активному центрі речовини небілкової природи (**коферменти**). Рівні структурної організації білків наведені .

Амінокислотна послідовність білкової молекули визначає її просторову структуру. Структура поліпептидного ланцюга стабілізується нековалентними взаємодіями між її частинами. Амінокислоти групуються всередині молекули, а

виникнення локальних водневих зв'язків між пептидними групами призводить до утворення  $\alpha$ -спіралей.

У залежності від форми, білки можуть бути *фібрилярними* і *глобулярними*. Фібрилярні - довгі, видовжені, досить стабільні, погано розчинні у воді. Деякі мають здатність до скорочення, наприклад, актин, міозин. Більшості білків властива глобулярна структура. Вони мають вигляд сфери і добре розчинні у воді, наприклад, гемоглобін, альбумін, більшість ферментів.

*Функції білків.* Функції білка визначаються хімічною будовою і фізико-хімічними властивостями поверхні. Специфічні місця на поверхні білка або всередині, утворені закономірно розташованими амінокислотними залишками, формують центри специфічного зв'язування інших речовин і визначають функцію того чи іншого білка.

Основні функції білків:

а) *каталітична* - ферменти в тисячі разів прискорюють хімічну модифікацію молекул-субстратів, забезпечують усі основні функції клітини;

б) *регуляторна* - гормони білкової природи беруть участь у регуляції і координації багатьох метаболічних і фізіологічних процесів живих організмів;

в) *структурна* - білки забезпечують утворення всіх елементів клітин і організму: органел, мембран, тканин, органів, а також структурний зв'язок між ними;

г) *захисна* - білки захищають організм, створюють його захисні покриви, оболонки органів і клітин, утворюють антитіла, регулюють рН;

д) *рецепторна* - білки розпізнають сигнали, що надходять із зовнішнього середовища, перетворюють їх і передають у необхідний відділ організму;

е) *транспортна* функція полягає у здатності окремих білків переносити речовини до місця використання.

Наприклад, переносник різних речовин через біомембрани, а також цитоскелет - гемоглобін; ж) *рухова* функція забезпечується м'язовими білками: актином, міозином та іншими, з яких складаються м'язові тканини; з) *енергетична* роль зв'язана з можливістю використання органічних молекул білків в енергетичному обміні. В результаті їх зруйнування утворюється АТФ.

*Нуклеїнові кислоти.* Нуклеїнові кислоти - унікальні молекули, необхідні кожній клітині для збереження і передачі генетичної інформації. Нуклеїнові кислоти забезпечують процеси синтезу білків, а цим, у свою чергу, визначається характер обміну речовин, закономірності росту й розвитку, явища спадковості й мінливості.

Є дві основні групи нуклеїнових кислот: ДНК і РНК . Вони відрізняються хімічною будовою і біологічними властивостями.

**Вуглеводи.** Вуглеводи - це органічні речовини, що мають загальну формулу  $C_x(H_2O)_y$ , де  $x$  і  $y$  можуть мати різні значення, їх поділяють на три основні класи: моносахариди, дисахариди, полісахариди.

Глюкоза є найбільш важливим моносахаридом у живих системах, ключовою ланкою енергетичного обміну і структурним мономером полісахаридів. Інші важливі моносахариди: фруктоза, галактоза, рибоза.

Енергія, що вивільняється при розщепленні вуглеводів, генерується і запасується у вигляді двох сполук - АТФ і НАДФ. Моносахариди можуть шляхом трансамінування перетворюватися в деякі амінокислоти. Вони також утворюють субстрати для синтезу жирів.

Найбільш важливими дисахаридами є *мальтоза* (утворена двома молекулами глюкози), *сахароза* (складається з глюкози і фруктози) і *лактоза* (складається з глюкози і галактози), їх основна функція - джерело енергії для клітини.

Полісахариди побудовані з повторюваних молекул глюкози. У клітинах тварин це *глікоген*, у рослинних - *крохмаль*. Основна функція - запасують велику кількість енергії. Деякі полісахариди зв'язуються з білками й утворюють глікопротеїни.

**Ліпіди.** Це нерозчинні у воді органічні речовини клітини, які можна вилучити тільки органічними розчинниками. Хімічно дуже різноманітна група, але практично всі вони є складними ефірами жирних кислот і спирту. Велика частина ліпідів клітини - це складні ефіри органічних кислот і спирту гліцеролу (гліцерину). Усі ліпіди є висококалорійним джерелом енергії клітини.

Основним компонентом багатьох видів ліпідів є жирні кислоти. Це карбонові кислоти з довгими вуглеводневими "хвостами", наприклад, пальмітинова кислота: Жирні кислоти і фосфоліпіди мають гідрофобний хвостик і полярну голівку. Найважливіша функція жирних кислот - участь у побудові клітинних мембран. У воді вони утворюють ліпідні бішари, що самоорганізуються і складають основу всіх мембран клітини.

## **Питання для самоконтролю:**

1. Назвіть підпорядковані один одному рівні організації живого.
2. Які біологічні явища характеризують кожен із рівнів?
3. Які макроелементи входять до складу клітини?
4. Яке значення окремих макроелементів для життєдіяльності організму людини?
5. Які мікроелементи є у складі клітин, яка їхня роль в життєдіяльності організму людини?
6. Які з органел клітини належать до одно-, двомембранних, немембранних?
7. Які функції виконують мітохондрії, лізосоми, рибосоми, комплекс Гольджі?
8. Чим мітохондрії відрізняються від інших органел?
9. Яку будову клітинного центру можна побачити під електронним мікроскопом?
11. Що таке прелізосоми, власне лізосоми та постлізосоми?
12. Що таке хвороби нагромадження, з якими клітинними органелами вони пов'язані?
13. Охарактеризуйте білки, жири, вуглеводи, НК та АТФ.

## **Тестовий контроль**

### ***Завдання 1.***

До складу рибосом входять білок і рибосомальна РНК – РНП рибонуклеопротеїд. Де формуються субодиниці рибосом?

- а) в мітохондріях
- б) в ядерці
- в) в комплексі Гольджі
- г) в лізосомах
- д) на каналцях ендоплазматичного ретикулуму

### ***Завдання 2.***

З порушенням структури якої з органел клітини виникають хвороби накопичення?

- а) комплекс Гольджі
- б) лізосоми
- в) центросома
- г) мітохондрії
- д) пластиди

### ***Завдання 3.***

Органела клітини має власну білоксинтезуючу систему. Назвіть її?

- а) апарат Гольджі

- б) лізосоми
- в) вакуолі
- г) ендоплазматичний ретикулум
- д) мітохондрії

#### **Завдання 4.**

У хворого 16 років виявлено пониження кількості альбумінів. Йому провели пункцію печінки та гепатоцити вивчили за допомогою електронної мікроскопії. Які органели на електроннограмі недостатньо розвинуті?

- а) мітохондрії
- б) комплекс Гольджі
- в) гладенька ЕПС
- г) гранулярна ЕПС
- д) ядро

#### **Завдання 5.**

Біосинтез речовин вивчають за допомогою мічених ізотопів. Для вивчення локалізації біосинтезу білка мишам вводили мічені амінокислоти аланін і триптофан. Біля яких клітинних структур спостерігається накопичення мічених амінокислот на автографах (гістологічні зрізи, які вкриті фотоемульсією).

- а) гладенька ЕПС
- б) клітинний центр
- в) рибосоми
- г) лізосоми
- д) мікро тільця

#### **Завдання 6.**

При вивченні ультраструктури цитоплазми клітини виявлена органела, яка локалізується біля ядра. Вона складається з двох циліндрів, розташованих перпендикулярно один до одного. Циліндри утворені мікротрубочками. Було з'ясовано, що ця органела забезпечує формування мітотичного апарата і являє собою:

- а) рибосому
- б) ендоплазматичну сітку
- в) центросому
- г) мітохондрію
- д) лізосому

### **Завдання 7.**

У клітину потрапив вірус грипу. Трансляція при біосинтезі вірусного білка у клітині буде здійснюватись:

- а) у ядрі
- б) у лізосомах
- в) на полісомах
- г) на каналах гладкої ендоплазматичної сітки
- д) у клітинному центрі

### **Завдання 8.**

Вкажіть, які органоїди клітин мають двомембранну будову?

- а) мітохондрії, апарат Гольджі.
- б) ендоплазматична сітка, пластиди.
- в) мітохондрії, пластиди.
- г) апарат Гольджі, рибосоми.
- д) клітинний центр, рибосоми

### **Література**

*Барціховський В.В., Шерстюк П.Я.* Медична біологія: підручник. — К.: Медицина, 2011. — 312 с.

*Медична біологія: Підручник / За ред. В.П. Пішака, Ю.І. Бажори.* — 2-ге вид., переробл. і допов. — Вінниця: Нова книга, 2009. — 608 с.

*Сабадишин Р.О., Бухальська С.Є.* Медична біологія: підручник. — Вінниця: Нова книга, 2008. — 368 с.

*Путинцева Г.Й.* Медична генетика: підручник. — 2-ге вид., переробл. і допов. — К.: Медицина, 2008. — 392 с.

*Кулікова Н.А., Ковальчук Л.Є.* Медична генетика: підручник. — Тернопіль: Укрмедкнига, 2004. — 173 с.

*Саляк Н.О.* Практикум з медичної біології: навч. посіб. / Н.О. Саляк. — К.: Медицина, 2009. — 152 с.

*Саляк Н.О.* Навчальний посібник з медичної генетики: навч. посіб. / Н.О. Саляк, М.С. Панкевич; за ред. М.Б. Шегедин. — К.: Медицина, 2008. — 144 с.

*Саляк М.О., Смачило І.С.* Медична паразитологія. Практикум: навч. посіб. — К.: Медицина, 2011. — 184 с.

*Мотузний В.О.* Біологія: навч. посіб. / За ред. О.В. Костильова. — К.: Вища шк., 2007. — 751 с.

## **Тема: Організація клітин у часі.**

Поділ клітин — це **основа життя**. Без розуміння, як клітини ростуть, діляться та оновлюються, неможливо ефективно лікувати такі поширені та небезпечні стани, як рак, спадкові хвороби чи наслідки травм.

### **Навчальна мета:**

#### **Знати:**

1. Поділ клітин: амітоз, мітоз, їх суть і значення
2. Статеве та безстатеве розмноження
3. Репродуктивні органи людини
4. Будову статевих клітин
5. Вплив зовнішніх і внутрішніх чинників та генетичний апарат клітини й процес запліднення;

#### **Вміти:**

1. Порівнювати мітоз та мейоз
2. Порівнювати ово- та сперматогенез
3. Порівнювати будову статевих клітин

### **Компетентності, якими повинен оволодіти здобувач освіти:**

#### **Загальні компетентності (ЗК)**

ЗК. 2. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

ЗК. 4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК. 5. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК. 6. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

#### **Спеціальні (фахові) компетентності (СК)**

СК. 8. Здатність до використання інформаційного простору та сучасних цифрових технологій в професійній медичній діяльності.

СК. 12. Здатність до безперервного професійного розвитку фахівців у сфері охорони здоров'я (освіта впродовж життя).

## План

1. Життєвий цикл клітини
2. Мітоз, його біологічне значення
3. Мейоз, його біологічне значення
4. Види розмноження, їх його біологічне значення
5. Будова статевих клітин
6. Гаметогенез. Запліднення

## Зміст теми:

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.

Клітинний цикл значно коротший. Це власне процес підготовки до поділу (*інтерфаза*) і сам поділ (*мітоз*). Тому цей цикл називають ще мітотичним.

Така періодизація (на життєвий і мітотичний цикл) досить умовна, оскільки життя клітини - безперервний, неподільний процес. Так, в ембріональний період, коли клітини швидко діляться, життєвий цикл співпадає з клітинним (мітотичним). Після диференціювання клітин, коли кожна з них виконує специфічну функцію, життєвий цикл триваліший від мітотичного.

Клітинний цикл складається з інтерфази, мітозу і цитокінезу (рис. 2). Тривалість клітинного циклу в різних організмів різна.

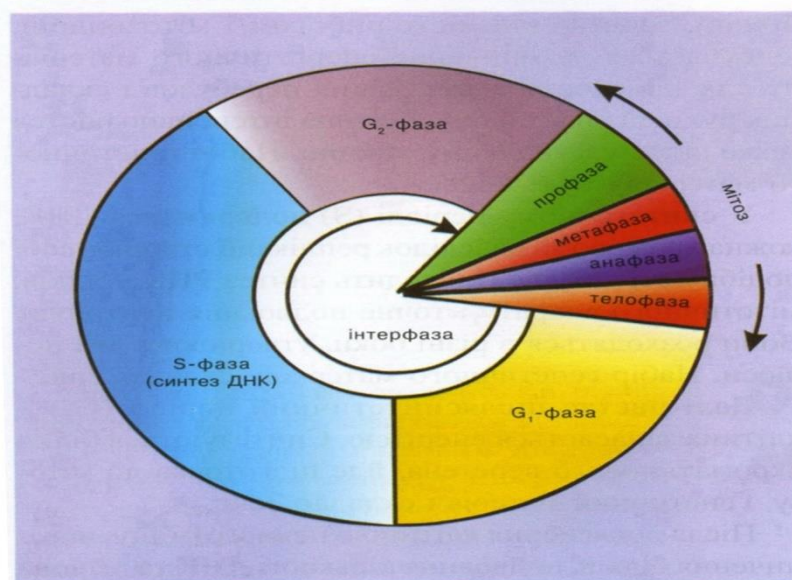


Рис 2 . Клітинний цикл.

Існує два основних способи поділу соматичних клітин: *мітоз* і *амітоз*.

*Мітоз* - непрямий, або мітотичний поділ є переважаючим типом поділу еукаріотичних соматичних клітин і притаманний всім багатоклітинним організмам. При цьому відбувається точний рівномірний розподіл спадкового матеріалу. Внаслідок мітозу кожна дочірня клітина отримує повний набір хромосом із строгою кількістю ДНК і за їх складом ідентична материнській клітині.

*Амітоз* переважає у деяких одноклітинних організмів. Це також спосіб поділу соматичних клітин, але на відміну від мітозу, прямий поділ інтерфазного ядра клітини відбувається шляхом перетяжки простою перетинкою.

*Мітоз*. Мітоз настає після інтерфази і умовно поділяється на такі фази:

- 1) профаза,
- 2) метафаза,
- 3) анафаза,
- 4) телофаза.

*Профаза* - початкова фаза мітозу. Характеризується тим, що ядро збільшується в розмірах, і з хроматинової сітки, в результаті спіралізації і вкорочення, хромосоми з довгих, тонких, невидимих ниток наприкінці профазі стають короткими, товстими і розміщуються у вигляді видимого клубка. Хромосоми скорочуються, стовщуються і складаються з двох половинок - хроматид. Хроматиди обвиваються одна навколо одної, утримуються попарно за допомогою центромери. Профаза завершується зникненням ядерця, центріолі розходяться до полюсів з утворенням фігури веретена. З білка тубуліну формуються мікротрубочки - нитки веретена. Внаслідок розчинення ядерної мембрани хромосоми розміщуються в цитоплазмі. До центромер прикріплюються нитки веретена з обох полюсів.

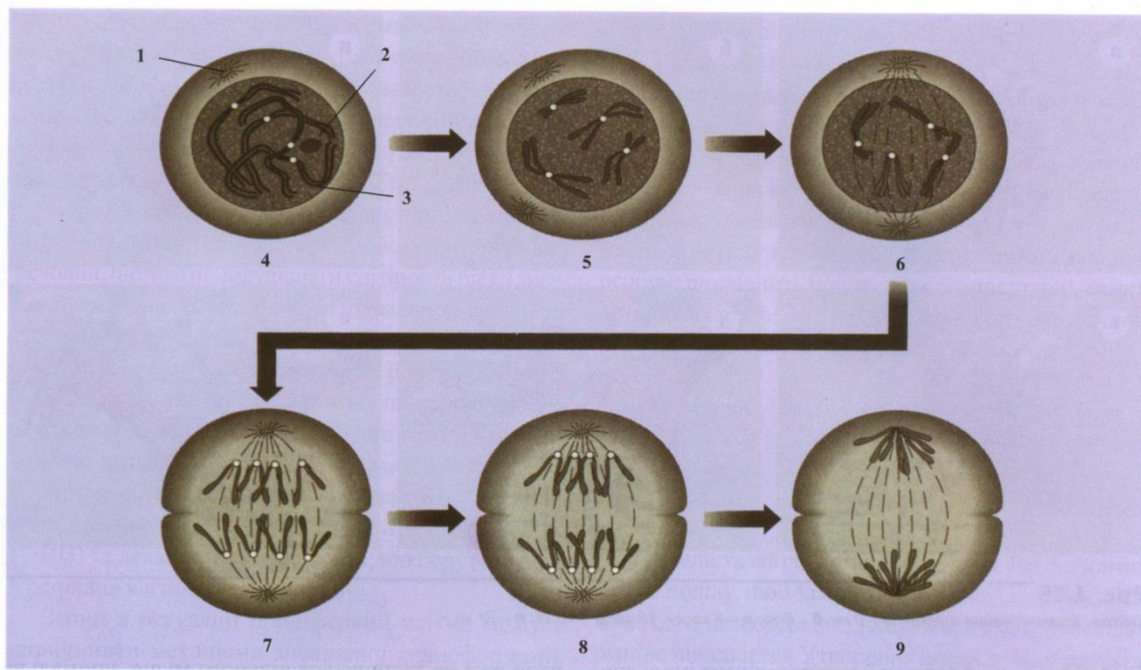
*Метафаза* розпочинається рухом хромосом у напрямку до екватора. Поступово хромосоми (кожна складається з двох хроматид) розміщуються у площині екватора, утворюють так звану метафазну пластинку. У тваринних клітинах на полюсах навколо центріолі помітні зірчастоподібні фігури. У цій фазі можна підрахувати число хромосом у клітині. Набір генетичного матеріалу становить  $2n4c$ .

Метафазну пластинку використовують у цитогенетичних дослідженнях для визначення числа і форми хромосом.

В *анафазі* сестринські хроматиди відходять одна від одної, розділяється з'єднуюча їх центромерна ділянка. Всі центромери діляться одночасно. Кожна хроматида з окремою центромерою стає дочірньою хромосомою і по нитках веретена починає рухатися до одного з полюсів. Набір генетичного матеріалу складає  $2n2c$ .

*Телофаза* - заключна стадія мітозу. Зворотна відносно профазі. Хромосоми, які досягли полюсів, складаються з однієї нитки, стають тонкими, довгими і невидимими у світловий мікроскоп. Вони зазнають деспіралізації, утворюють сітку інтерфазного ядра. Формується ядерна оболонка, з'являється ядерце. У цей час зникає мітотичний апарат і відбувається *цитокінез* - розділення цитоплазми з утворенням двох дочірніх клітин. Набір генетичного матеріалу складає  $2n2c$ .

*Біологічне значення мітозу.* Мітоз - найбільш поширений спосіб репродукції клітин тварин, рослин, найпростіших. Це основа росту і вегетативного розмноження всіх еукаріотів - організмів, які мають ядро. Основна його роль полягає у точному відтворенні клітин, забезпеченні рівномірного розподілу хромосом материнської клітини між виникаючими з неї двома дочірніми клітинами і підтриманні сталості числа і форми хромосом у всіх клітинах рослин і тварин. Мітоз сприяє росту організму в ембріональному і постембріональному періодах, копіюванню генетичної інформації і утворенню генетично рівноцінних клітин.



**Рис. 1.74**

Схема мітозу: 1 – центріоля; 2 – ядерце; 3 – хромосоми; 4 – рання профазя; 5 – пізня профазя; 6 – метафазя; 7 – рання анафазя; 8 – пізня анафазя; 9 – рання телофазя.

**Мейоз** складається з двох швидких у часі послідовних поділів клітин: першого і другого, причому подвоєння ДНК відбувається тільки перед першим поділом. Один з них називається *редукційним*, або першим мейотичним поділом, при якому число хромосом зменшується у два рази; інший - *екваційний* (рівний), або другий редукційний поділ, який нагадує мітотичний поділ.

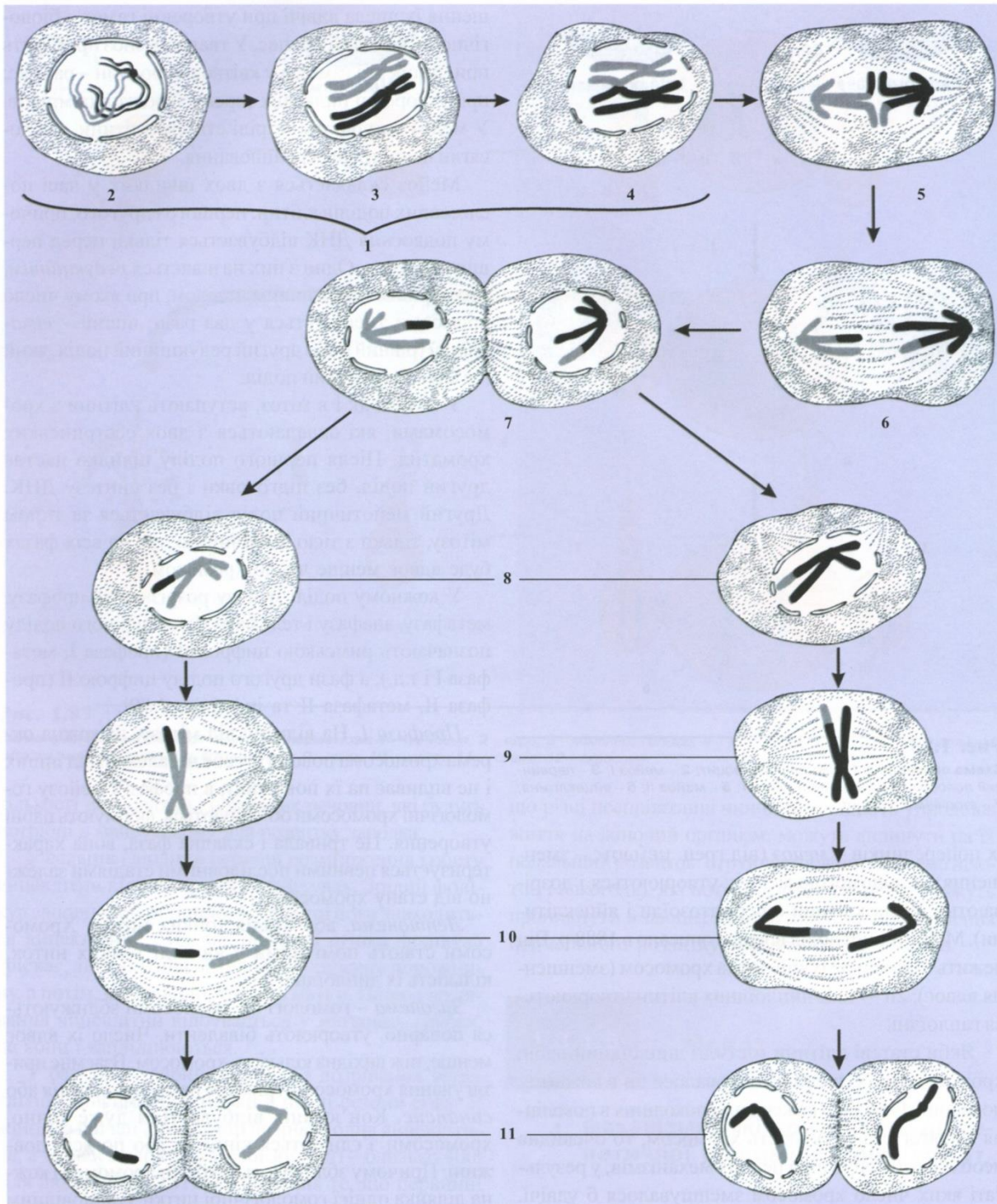
У мейоз, як і в мітоз, вступають клітини з хромосомами, які складаються з двох сестринських хроматид. Після першого поділу швидко настає другий поділ, без

підготовки і без синтезу ДНК. Другий мейотичний поділ відбувається за типом мітозу, тільки з тією відмінністю, що на всіх фазах буде вдвоє менше число хромосом.

У кожному поділі мейозу розрізняють профазу, метафазу, анафазу і телофазу. Фази першого поділу позначають римською цифрою I (профаза I, метафаза I і т.д.), а фази другого поділу цифрою II (профаза II, метафаза II та ін.)

Генетичне значення мейотичного поділу полягає в наступному:

1. У результаті мейозу кожна материнська клітина дає початок чотирьом клітинам з "редукційним", тобто зменшеним удвоє, числом хромосом.
2. Мейоз є механізмом, який підтримує видову сталість кількості хромосом і зумовлює постійність видів на Землі. Якби число хромосом не зменшувалося, то в кожному наступному поколінні відбувалося б зростання їх удвічі (у батьків - 46, у дітей - 92, в онуків - 184, у правнуків - 368 і т.д.)
3. Мейоз забезпечує завдяки випадковій комбінації материнських і батьківських хромосом генетичну різноманітність гамет. Тобто мейоз сприяє комбінативній мінливості (гени батьків комбінуються, внаслідок чого в дітей можуть з'являтися ознаки, яких не було в батьків). Комбінативна мінливість забезпечує велику різноманітність людства і дає можливість пристосуватися до зміни умов середо вища, сприяє виживанню виду.
4. Мейоз забезпечує різноманітність гамет за генетичним складом, сприяє внаслідок рекомбінації ділянками гомологічних (парних) батьківських хромосом утворенню хромосом нового генетичного складу. У профазі цьому сприяв кросинговер, у метафазі - вільне перекомбінування хромосом. Тобто виникає рекомбінація батьківських наборів хромосом.



**Рис. 1.89**

Схема мейозу: 1 – профаза I; 2 – лептонема; 3 – зигонема; 4 – диплонема; 5 – метафаза I; 6 – анафаза I; 7 – телофаза I; 8 – профаза II; 9 – метафаза II; 10 – анафаза II; 11 – телофаза II.

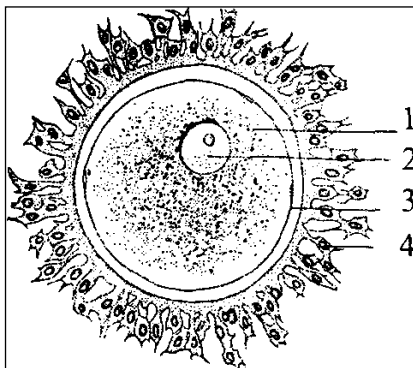
Мейоз забезпечує і новий розподіл цілих хромосом між дочірніми клітинами, стає можливим перегрупування хромосом, тобто різне поєднання материнських і батьківських хромосом у гаплоїдних ядрах статевих хромосом.

Таким чином, забезпечується утворення різних гамет в одного організму і виникнення різноманітного потомства.

*Статеві клітини* виконують функцію передачі спадкової інформації від особин батьківського покоління нащадкам. Порівняно з нестатевими (соматичними)

клітинами вони мають половинний (як правило, гаплоїдний) набір хромосом, що забезпечує при їхньому злитті відтворення в заплідненій яйцеклітині типового для організмів набору хромосом (диплоїдного). На відміну від нестатевих клітин, гамети характеризуються низьким рівнем процесів обміну.

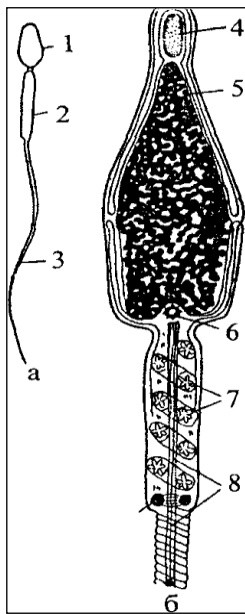
*Яйцеклітини* (рис.34) відрізняються від сперматозоїдів більшими розмірами, оскільки здебільшого містять запас поживних речовин, потрібних для розвитку зародка, та можуть бути вкриті різноманітними оболонками: наприклад, у птахів яйцеклітина додатково вкрита товстою білковою оболонкою, двома тоненькими підшкаралупними, твердою вапняковою шкаралупою і зовнішнім тоненьким кутикулярним шаром. Ці оболонки виконують захисну функцію, а білкова – є також джерелом води для зародка, що розвивається. Розміри яйцеклітини залежать від кількості запасних поживних речовин в її цитоплазмі, наприклад, у плацентарних ссавців, зародок яких дістає поживні речовини від материнського організму через плаценту, розміри яйцеклітини (без оболонки) варіюють від 50 мкм (у полівки) до 180 мкм (у вівці), діаметр яйцеклітини людини становить 90 мкм. Якщо в цитоплазмі яйцеклітини накопичується значний запас поживних речовин (жовток), її розміри (без оболонки) можуть досягати кількох сантиметрів: 50-70 мм (в акули), 80 мм (у страуса), 290 мм (оселедцева акула).



**Рис. 34. Яйцеклітина ссавців:**

- 1 – цитоплазма;
- 2 – ядро;
- 3 – оболонка;
- 4 – фолікулярні клітини

*Сперматозоїди* (рис.35) менші за яйцеклітину, їх довжина становить від 10 до 800 мкм, однак інколи може досягати 8000 мкм (деякі ракоподібні). Сперматозоїди рухаються переважно за допомогою джгутика. Будова цих джгутиків подібна до будови джгутиків різних типів клітин еукаріот, вони забезпечують поступальний рух у рідкому середовищі. Сперматозоїди ссавців мають коротеньку голівку, в якій міститься ядро. На її передньому кінці є особлива органела – акросома, що формується за рахунок елементів комплексу Гольджі. Акросома забезпечує проникнення сперматозоїда в яйцеклітину, виділяючи ферменти гіалуронідазу і муромідазу, що розчиняють оболонку яйцеклітини та забезпечують її активацію.



**Рис. 35. Сперматозоїд ссавця:**

а) загальний вигляд;

б) схема:

1 – головка;

2 – шийка;

3 – хвіст;

4 – акросома;

5 – ядро;

6 – центросома;

7 – мітохондріальна спіраль;

8 – осьова нитка;

За голівкою розташована шийка, а за нею – коротенький проміжний відділ, в якому міститься центріоля, оточена мітохондріями, що генерують енергію АТФ для роботи джгутика, розташованого на задньому кінці клітини.

Процес дозрівання і розвитку статевих клітин – *гаметогенез* у тварин і людини відбувається у статевих залозах (яйцеклітини розвиваються в яєчниках, сперматозоїди – у сім'яниках). Процеси утворення чоловічих статевих клітин (*сперматогенез*) і жіночих статевих клітин (*оогенез*) мають ряд спільних рис (рис.36).

В яєчнику і в сім'яниках розрізняють три ділянки або зони *розмноження, росту та дозрівання статевих клітин*.

У зоні *розмноження* сперматогонії та оогонії (клітини-попередники сперматозоїдів і яйцеклітин) розмножуються мітотичним поділом, кількість їх збільшується; у чоловіків мітоз розпочинається в періоді статевого дозрівання і триває десятки років, у жінок поділ оогоній відбувається лише в ембріональному періоді їхнього життя і закінчується ще до народження.

У зоні *росту* сперматогонії та оогонії перестають розмножуватися, починають рости і збільшуватися в розмірах, перетворюючись на первинні статеві клітини (сперматоцити й ооцити першого порядку).

Після закінчення росту сперматоцити й ооцити першого порядку переходять у *зону дозрівання*, де внаслідок мейотичного поділу перетворюються на яйцеклітини та сперматозоїди з гаплоїдним набором хромосом.

При оогенезі внаслідок нерівномірного розподілу цитоплазми як при першому, так і при другому поділах мейозу тільки в одній клітині виявляється більший запас поживних речовин, необхідних для розвитку майбутнього зародка; утворюється одна зріла яйцеклітина з гаплоїдним набором хромосом і три маленьких клітини - напрямні тільця, які потім зникають.

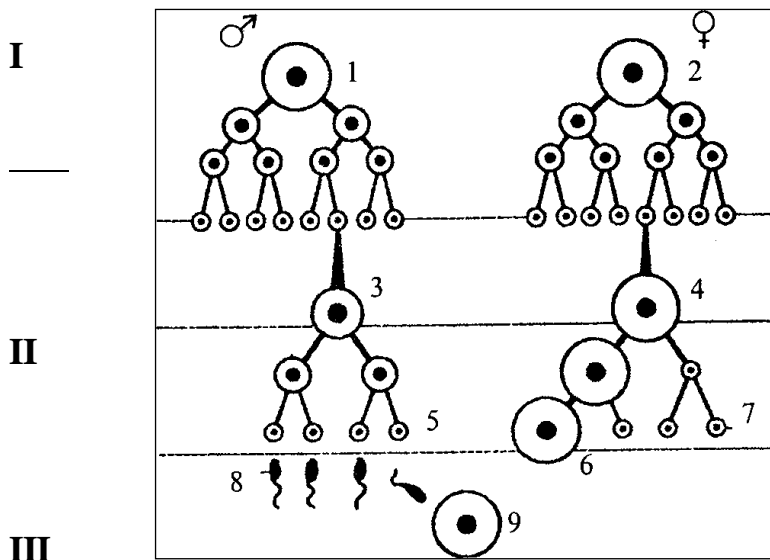


Рис. 36. Спермато- й оогенез:

I – зона розмноження сперматогоніїв (1) та овогоніїв (2) шляхом мітозу;  
 II – зона росту;  
 III – зона дозрівання; 3,4 – поділ первинних сперматоцитів і овоцитів шляхом мейозу;

- 5 – сперматиди;
- 6 – недозріла яйцеклітина;
- 7 – полоцити (напрямні тільця);
- 8 – сперматозоони;
- 9 – яйцеклітина

При сперматогенезі в зоні дозрівання сім'яника всі чотири, утворені після мейозу, клітини однакові і перетворюються на зрілі сперматозоїди; на відміну від яйцеклітини, розміри сперматозоїдів при дозріванні зменшуються, зникає більша частина цитоплазми. Сперматогенез триває ще довго після народження чоловічої особини, тоді як оогенез у жінок найбільш інтенсивно відбувається між третім та сьомим місяцями ембріогенезу, і завершується на третьому році життя; сформовані до цього часу первинні жіночі статеві клітини зберігаються багато років.

Такі відмінності між сперматогенезом та оогенезом сприяють утворенню величезної кількості сперматозоїдів, що необхідно для забезпечення запліднення найбільшої кількості яйцеклітин, а отже, для збереження виду.

*Запліднення* – це процес злиття чоловічої та жіночої статевих клітин з утворенням зиготи, яка дає початок новому організму. У тварин запліднення може бути зовнішнім і внутрішнім. Зовнішнє запліднення – відбувається поза статевою системою самки і характерне переважно для мешканців водойм (багатощетинкові черви, двостулкові молюски, річковий рак, голкошкірі, ланцетники, кісткові риби, земноводні), а також деяких наземних тварин (дощові черви, деякі павукоподібні тощо). Внутрішнє запліднення – відбувається в статевих шляхах самки і притаманне більшості наземних тварин (плоскі і круглі черви, черевоногі молюски, комахи, багатоніжки, плазуни, птахи, ссавці), а також деяким мешканцям водойм (ракоподібні, хрящові риби тощо).

Запліднення у тварин проходить у кілька етапів:

- *проникнення сперматозоїда у клітину;*
- *злиття гаплоїдних ядер обох гамет з утворенням диплоїдної зиготи;*
- *активація зиготи до дроблення і подальшого розвитку.*

Сперматозоїд активно проникає через захисні оболонки яйцеклітини. Оболонка яйцеклітини набуває властивостей, що запобігають доступу інших сперматозоїдів. Це забезпечує злиття ядра яйцеклітини з ядром одного з сперматозоїдів. У тварин, в яких в яйцеклітину проникає декілька сперматозоїдів, у заплідненні бере участь лише один, інші розчиняються. Утворюється запліднена яйцеклітина з диплоїдним набором хромосом.

У рослин заплідненню передують *запилення* (перенесення пилкового зерна з пиляка тичинки на приймочку маточки квіткових або безпосередньо на насінний зачаток голонасінних). У голонасінних запилення відбувається тільки за допомогою вітру. У покритонасінних рослин завдяки появі квітки способи запилення різноманітніші (за допомогою вітру, води, тварин-запилювачів); воно може бути перехресним (якщо пилокве зерно потрапляє на приймочку маточки іншої квітки) або ж спостерігається самозапилення (якщо пилокве зерно потрапляє на приймочку маточки тієї самої квітки). Процес запліднення у квіткових рослин досить складний, вперше його дослідив професор Київського університету С.Г.Навашин у 1898 р. і назвав *подвійним заплідненням*.

Біологічне значення запліднення полягає у відновленні хромосомного набору, притаманного даному виду та сприяє різноманітності генетичного матеріалу. У заплідненій яйцеклітині в кожній парі гомологічних хромосом одна з них – батьківська, друга – материнська, і тому новий організм, який розвивається, несе в собі ознаки обох батьків, що збільшує комбінативну спадкову мінливість. Цьому також сприяє процес мейозу, яким супроводжується дозрівання статевих клітин, а саме – обмін ділянками між гомологічними хромосомами в профазі I, та незалежне розходження гомологічних хромосом в анафазі першого мейотичного поділу.

При заплідненні сперматозоїд приносить в яйцеклітину ядерний матеріал (хроматин, ДНК), та центріоль, якої немає в яйцеклітині і дуже мало в цитоплазмі. Яйцеклітина, крім ядра, забезпечує основний цитоплазматичний матеріал для розвитку зародка.

Ряд властивостей організму залежить не тільки від ядра, але і від цитоплазми. Підтвердженням цьому є явище цитоплазматичної спадковості. Воно пов'язане, в основному, з генетичною інформацією в мітохондріях, де знаходиться більшість генів цитоплазматичної спадковості. Крім того, у цитоплазмі яйцеклітини ще до запліднення накопичується велика кількість різноманітних іРНК, які включаються в процеси трансляції на стадії зиготи.

Штучне запліднення: у медицині при безплідності в жінок застосовується техніка запліднення поза організмом. Ембріон на ранніх стадіях дроблення (8 бластомерів) трансплантується в матку, де і завершується його розвиток.

*Партеногенез* (від грец. *παρθένος* – дівчина і *γένεσις* – походження, народження) – розвиток організму з незаплідненої яйцеклітини, коли нове покоління має материнський незмінений генотип. В одних видів, наприклад ящірок, існують партеногенетичні та двостатеві популяції, в інших – партеногенез – єдиний спосіб розмноження (наприклад, у комах-паличників). У попелиць і дафній закономірно змінюються статеві та партеногенетичні покоління.

Статеве розмноження тварин і рослин супроводжується *заплідненням* – злиттям двох гамет – чоловічої і жіночої. У результаті утворюється запліднена яйцеклітина – зигота, яка дає початок розвитку нового покоління організмів. Тільки в 1875 році було доведено, що в основі процесу запліднення лежить злиття ядер однієї жіночої і чоловічої статевих клітин, і тим самим об'єднання їх хромосом. Внаслідок об'єднання гаплоїдних наборів хромосом відновлюється диплоїдне їх число.

Існують два способи запліднення: зовнішнє і внутрішнє. Майже всі водні тварини (риби, земноводні та ін.) – мечуть ікру (яйцеклітини) і сперму у воду, де і відбувається запліднення. Виняток складають водні ссавці (ластоногі, китоподібні), живородні риби і деякі земноводні, яким властиве внутрішнє запліднення.

У наземних тварин запліднення відбувається в статевій системі самки, і зародок розвивається або в середині її тіла, (внутрішньоутробний розвиток у ссавців), або в яйцях, вкритих шкаралупою (комахи, плазуни, птахи, яйцекладні ссавці). Яйця зігріваються теплом матері, сонячним промінням або теплом, яке виділяється при гнитті органічних залишків. Зародок розвивається поза тілом самки, яйцеклітина містить великі запаси поживних речовин, які забезпечують розвиток зародка.

При внутрішньоутробному розвитку плода яйцеклітина містить мінімальну кількість поживного матеріалу.

Запліднення у людини може настати зразу після завершення яйцеклітиною стадії дозрівання. У цей період вона вкрита шаром фолікулярних клітин, містить гаплоїдний набір – 23 хромосоми. Для проникнення в яйцеклітину сперматозоїди виділяють спеціальні ферменти – гіалуронідазу і муциназу, звільнюють її від фолікулярних клітин, руйнують оболонку яйцеклітини. Якщо сперматозоїдів мало, фолікулярний шар не розчиняється повністю, що гальмує запліднення.

У більшості випадків єдина овулююча яйцеклітина об'єднує свій геном із геномом одного зі 100-200 млн. сперматозоїдів, а інші затримуються в її прозорій оболонці. Вважають, що в яйцеклітину проникає тільки голівка сперматозоїда, яка містить ядро, з гаплоїдним набором – 23 хромосоми. Воно швидко набрякає, досягаючи розміру ядра яйцеклітини, і зливається з ним. Утворюється одне ядро з диплоїдним набором хромосом (46 хромосом): один набір від батька, другий від

матері ( $2n2c$ ). Запліднена яйцеклітина отримала назву “зигота”. В окремих випадках в яйцеклітину проникає не один, а декілька сперматозоїдів, але в заплідненні бере участь ядро одного з них. Цим забезпечується сталість числа хромосом й однаковість успадкування ознак обох батьків. Яйцеклітини запліднюються тільки сперматозоїдами свого виду. Причиною цього явища є хімічна особливість чоловічих і жіночих статевих клітин одного виду.

Таким чином, біологічна суть запліднення полягає в *наступному*:

1. Внаслідок об'єднання гаплоїдних наборів хромосом відновлюється диплоїдне число хромосом.
3. Запліднення забезпечує безперервність матеріального зв'язку між поколіннями організмів.
4. У результаті поєднання спадкових особливостей двох організмів у нащадків утворюються нові ознаки, – з'являється матеріал для добору, підвищується мінливість потомства, зростає комбінативна мінливість.
5. Вибірковість запліднення (запліднення тільки в межах виду) забезпечує збереження виду як цілого.

Поява статевого розмноження зумовлює виняткові генетичні переваги перед безстатевим розмноженням. Різноманітність особин забезпечується, у першу чергу, статевим процесом внаслідок появи пристосованих генотипів. Статеве розмноження сприяє генетичним рекомбінаціям, які прискорюють процес еволюції, зумовлює появу пристосованого до умов середовища генотипу. Оскільки рекомбінація кожної пари генів відбувається в кожному поколінні, то адаптивні комбінації генів виникають значно частіше, внаслідок рекомбінації, ніж за мутацій.

### **Питання для самоконтролю:**

1. Які причини поділу клітин?
2. Який біологічний сенс мітозу?
3. Яка відмінність між поняттями «життєвий цикл» і “мітотичний цикл клітини”?
4. На які періоди поділяють інтерфазу, яка їхня сутність?
5. В який період мітотичного циклу відбувається редуплікація ДНК?
6. Назвіть і охарактеризуйте фази мітозу.
7. Вкажіть особливості стану хромосом у кожній фазі мітозу.
8. Чому клітини втрачають здатність до поділу?
9. Яку фазу мітозу використовують для вивчення каріотипу?
10. Що таке мітотичний індекс (MI %)?
11. Який механізм руху хромосом під час мітозу?
12. Що таке ендомітоз, ендоамітоз?
13. Що відомо про вплив алкоголю, нікотину, наркотиків на процес авторепро-

дукції клітин?

14. Що таке гаметогенез?

15. Порівняйте ово- та сперматогенез?

16. В чому суть запліднення?

## ***Тестовий контроль***

**1.** Біологічне значення мітозу полягає у збереженні повноцінної генетичної інформації в поколіннях клітин. В якій фазі мітозу дочірні хромосоми (хроматиди) незалежно і порівну розходяться до полюсів материнської клітини?

- а) в метафазі;
- б) в телофазі;
- в) у прометафазі;
- г) в анафазі;
- д) в профазі

**2.** На якому з етапів життєвого циклу клітини відбувається подвоєння ДНК?

- а) анафаза;
- б) профаза;
- в) метафаза;
- г) інтерфаза;
- д) телофаза.

**3.** Який поділ клітини призводить до утворення диплоїдного набору хромосом?

- а) мітоз;
- б) мейоз;
- в) амітоз;
- г) множинний поділ;
- д) ендомітоз.

**4.** Поділ ядра клітини відбувається шляхом перетяжки перегородкою. Зберігаються ядерна оболонка й ядерця, не утворюється мітотичного апарату, хромосоми не спіралізуються. Інколи перешнуровується цитоплазма. Про який вид поділу йде мова?

- а) мітоз;
- б) мейоз;
- в) амітоз;
- г) множинний поділ;
- д) ендомітоз.

## Література

*Барціховський В.В., Шерстюк П.Я.* Медична біологія: підручник. — К.: Медицина, 2011. — 312 с.

*Медична біологія: Підручник / За ред. В.П. Пішака, Ю.І. Бажори.* — 2-ге вид., переробл. і допов. — Вінниця: Нова книга, 2009. — 608 с.

*Сабадишин Р.О., Бухальська С.Є.* Медична біологія: підручник. — Вінниця: Нова книга, 2008. — 368 с.

*Путинцева Г.Й.* Медична генетика: підручник. — 2-ге вид., переробл. і допов. — К.: Медицина, 2008. — 392 с.

*Кулікова Н.А., Ковальчук Л.Є.* Медична генетика: підручник. — Тернопіль: Укрмедкнига, 2004. — 173 с.

*Саляк Н.О.* Практикум з медичної біології: навч. посіб. / Н.О. Саляк. — К.: Медицина, 2009. — 152 с.

*Саляк Н.О.* Навчальний посібник з медичної генетики: навч. посіб. / Н.О. Саляк, М.С. Панкевич; за ред. М.Б. Шегедин. — К.: Медицина, 2008. — 144 с.

*Саляк М.О., Смачило І.С.* Медична паразитологія. Практикум: навч. посіб. — К.: Медицина, 2011. — 184 с.

*Мотузний В.О.* Біологія: навч. посіб. / За ред. О.В. Костильова. — К.: Вища шк., 2007. — 751 с.

## Лекція № 3. Молекулярні основи спадковості. Реалізація спадкової інформації.

Знання про основні матеріальні носії спадковості та мінливості - нуклеїнові кислоти, їх структурно-функціональну організацію та роль у зберіганні та перенесенні спадкової інформації є необхідними для подальшого розуміння процесів реалізації спадкової інформації на всіх рівнях існування живого - від молекулярного до організмового. Порушення цих процесів в подальшому може бути першопричиною виникнення різноманітних патологічних станів у людини - онкологічних, спадкових, молекулярних хвороб, імунодепресивних станів тощо.

### Навчальна мета:

#### Знати:

1. Характеристику НК: ДНК та РНК
2. Роль НК в біосинтезі білка
3. Генетичний код
4. Біосинтез білка
5. Організація геному еукаріот

#### Компетентності, якими повинен оволодіти здобувач освіти:

##### Загальні компетентності (ЗК)

ЗК. 2. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

ЗК. 4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК. 5. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК. 6. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

##### Спеціальні (фахові) компетентності (СК)

СК. 8. Здатність до використання інформаційного простору та сучасних цифрових технологій в професійній медичній діяльності.

СК. 12. Здатність до безперервного професійного розвитку фахівців у сфері охорони здоров'я (освіта впродовж життя).

## План

1. Нуклеїнові кислоти – ДНК та РНК.
2. Хімічна будова, просторова організація, видова специфічність.
3. Реплікація ДНК.
4. Реалізація спадкової інформації. Транскрипція. Процесінг – сплайсинг. Трансляція.

## Зміст теми:

Клітини складаються з білків, на частку яких припадає майже половина сухої речовини. Білки визначають структуру, форму і функції клітини. Відомо понад 170 амінокислот, проте тільки 20 з них визначають поліпептидну молекулу. Білки є полімерами, а амінокислоти - їх мономерні ланки. Різноманітність білків необмежена і зумовлена унікальною, властивою для кожного білка амінокислотною послідовністю.

Проте в природі не доведено жодного випадку, коли б молекула білка (поліпептиду) синтезувала собі подібну молекулу.

Біологічна інформація зберігається в генах у структурі ДНК у такій формі, що вона може точно копіюватися і передаватися наступним клітинам. Однак гени, так само як і ДНК, не здатні до прямого синтезу поліпептидних ланцюгів. Яким чином полінуклеотиди (ДНК, гени) зумовлюють синтез поліпептидів? Як здійснюється потік біологічної інформації?"

Спадкова інформація ДНК записана в лінійній послідовності нуклеотидів . Передача (реплікація) інформації розпочинається поділом двох комплементарних ланцюгів, на кожному з яких утворюється нова молекула ДНК. Під час транскрипції розгорнутого ланцюга з певних фрагментів ДНК утворюється РНК. Такий первинний транскрипт РНК значно довший за дозрілу молекулу РНК. Очевидно, що значна частина первинного транскрипту РНК руйнується в ядрі і тільки 1/20 його надходить до цитоплазми. Це і є власне мРНК, або іРНК. Молекули РНК - одноланцюгові, вони коротші за ДНК. Кількість утворених молекул РНК з певної ділянки ДНК контролюється регуляторними білками. Отже, ДНК направляє синтез специфічних РНК.

Транскрипція (переписування) генетичної інформації з ДНК на РНК і є першим кроком потоку біологічної інформації. РНК-продукт не залишається комплементарно зв'язаним з ДНК-матрицею. Щойно після синтезу РНК подвійна спіраль ДНК відновлюється. Наступний крок - трансляція мРНК. В еукаріотичних клітинах тривалість існування цієї молекули різна - від 30 хв. до 10 год.

Молекула мРНК покидає ядро, виходить у цитоплазму і скеровує синтез певного білка на рибосомах. Перенесення інформації від мРНК до білка ґрунтується на принципі комплементарності основ, як і перенесення генетичної інформації від ДНК до ДНК, або від ДНК до РНК.

Отже, генетична інформація записана в лінійній послідовності нуклеотидів ДНК. За участі РНК ця інформація надходить (транслюється) до рибосом з утворенням поліпептиду з амінокислот.

Потік біологічної інформації відбувається такими шляхами:

ДНК → ДНК → РНК → білок;

ДНК → РНК → білок;

РНК → ДНК → РНК → білок.

Будова молекули ДНК. Макромолекула ДНК -це два довгі полімерні ланцюги, що складаються з мономерів дезоксирибонуклеотидів, тісно з'єднаних між собою (рис. 1).

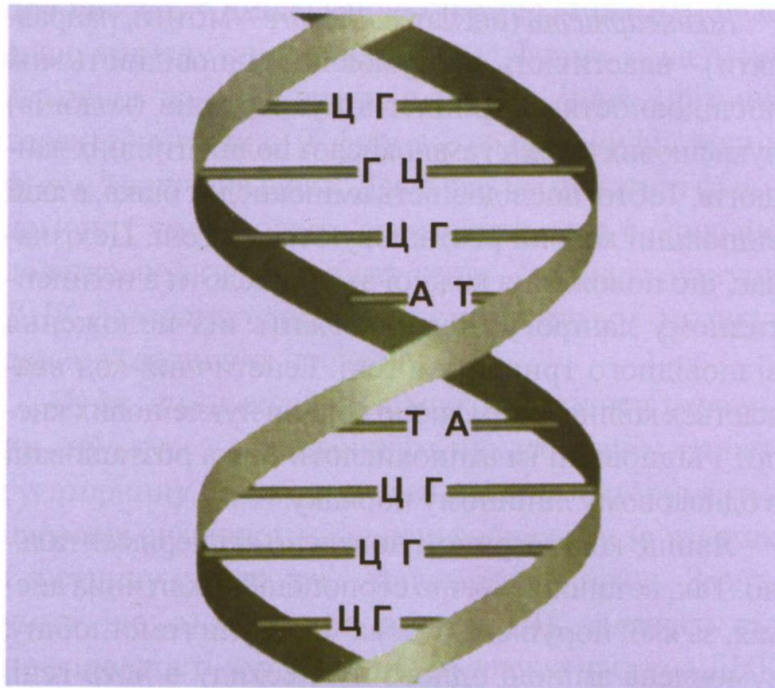


Рис.1 Будова молекули ДНК.

Нитки ДНК з'єднуються водневими зв'язками між азотистими основами двох ланцюгів і утворюють подвійну спіраль ДНК. Таку модель будови ДНК запропонували в 1953 р. Дж. Уотсон і Ф. Крік. Вони використовували також дані, отримані іншими вченими (Р. Франклін, М. Уілкінс, Е. Чаргафф), які за допомогою рентгенівської дифракції й інших методів вивчали фізичну та хімічну природу ДНК. Пуринові та піримідинові основи взаємодіють одна з одною. Аденін одного ланцюга двома водневими зв'язками з'єднується з тиміном іншого ланцюга, а гуанін - трьома водневими зв'язками з цитозином. Таке сполучення азотистих основ забезпечує міцний зв'язок обох ланцюгів. Два полінуклеотидні ланцюги ДНК антипаралельні. Тобто, 5'-кінець одного ланцюга з'єднаний із 3'-кінцем іншого, і навпаки. Генетична інформація записана послідовністю нуклеотидів у напрямку від 5'-кінця до 3'-кінця. Така нитка називається "змістовною", саме тут

розташовані гени (матричний ланцюг). Другий ланцюг у напрямку 3'-5' вважається "анти-змістовним". Він необхідний як "еталон" збереження генетичної інформації і набуває значення у процесах реплікації та репарації.

Два довгі антипаралельні полімерні ланцюги, що складаються із дезоксирибонуклеотидів, міцно з'єднані між собою водневими зв'язками. В результаті цього утворюється подвійна спіраль, закручена навколо центральної осі.

Рентгеноструктурний аналіз показав, що діаметр подвійної спіралі складає 2 нм, відстань між двома завершеними витками - 3,4 нм. У кожний виток входить 10 пар нуклеотидів. Відстань між сусідніми основами складає 0,34 нм.

Нуклеотиди. ДНК - це полімерна молекула, мономерами в якій є нуклеотиди.

*Нуклеотид складається з:*

- 1) азотистої основи;
- 2) моносахариду дезоксирибози (в нуклеотидах РНК - рибози);
- 3) залишку фосфорної кислоти.

Азотисті основи бувають двох типів: пуринові - аденін (А) і гуанін (Г) і піримідинові - тимін (Т) і цитозин (Ц).

До складу молекули ДНК входять чотири типи нуклеотидів: дезоксиаденозин-монофосфат (дАМФ), дезоксигуанін-монофосфат (дГМФ), дезокситимі-дин-монофосфат (дТМФ), дезоксицитозин-моно-фосфат (дЦМФ). Сполучення нуклеотидів у молекулі ДНК відбувається в результаті взаємодії фосфату одного нуклеотиду з гідроксильною групою дезоксирибози іншого. В результаті утворюється фосфодиефірний зв'язок, що об'єднує нуклеотиди в довгий ланцюжок. Скелет ланцюга складається з молекул фосфату і пентоз, що чергуються. Синтез полінуклеотидного ланцюга відбувається за участю ферменту ДНК-полімерази. Цей фермент приєднує фосфатну групу одного нуклеотиду до гідроксильної групи дезоксирибози наступного.

Комплементарність пар основ. Два полінуклеотидні ланцюги ДНК не є ідентичними, але вони комплементарні один одному (*рис. 1*). Це пов'язано із строгою відповідністю основ одного ланцюга основам іншого. Відстань між двома ланцюгами ДНК - 2 нм, що дозволяє вмістити тільки одну пару А-Т або Г-Ц, які відповідають цим розмірам. Тільки аденін і тимін, а також гуанін і цитозин мають відповідні просторові структури для утворення водневих зв'язків. Концепція специфічного зв'язування пар основ свідчить, що аденін в одному ланцюгу повинен відповідати тиміну в іншому, а гуанін повинен мати навпроти себе цитозин в іншому ланцюгу. Таким чином, два ланцюги ДНК комплементарні один одному.

**Правила Е. Чаргаффа.** Вивчаючи хімічний склад ДНК в 1950 році, Ервін Чаргафф сформулював важливі положення щодо структури ДНК:

I. Молярна частка пуринів (аденіну - А і гуаніну - Г) дорівнює молярній частці піримідинів (цитозину - Ц і тиміну - Т):

$$A+G=C+T, \text{ або } A+G/C+T=1$$

II. Кількість аденіну і цитозину дорівнює кількості гуаніну і тиміну:

$$A+C=G+T, \text{ або } A+C/G+T=1$$

III. Кількість аденіну дорівнює кількості тиміну, а кількість гуаніну дорівнює кількості цитозину:

$$A=T, \text{ або } A/T=1, G=C, \text{ або } G/C=1$$

IV. Відношення суми молярних концентрацій Г+Ц до суми молярних концентрацій А+Т у різних видів значно змінюється:  $G+C/A+T$  названо коефіцієнтом специфічності. Для бактерій коефіцієнт специфічності дорівнює 0,45-2,8, для вищих рослин, тварин і людини - 0,45-0,94.

V. Існують види ДНК, в яких  $A+T > G+C$  (АТ-тип) та ДНК, в яких  $A+T < G+C$  (ГЦ-тип). АТ-тип ДНК характерний для вищих рослин, тварин і людини. ГЦ-тип властивий грибам, бактеріям, вірусам.

Ці правила є основою встановлення хімічної і фізичної природи ДНК, просторової структури молекули, а також механізму генетичного коду.

Просторова організація ДНК. Молекула ДНК може існувати в різній конфігурації залежно від навколишніх умов. Відомо декілька форм ДНК: а) В-форма - має стандартну структуру відповідно до моделі молекули Уотсона і Кріка і в нормальних фізіологічних умовах є основним структурним типом; б) А-форма - виявлена у зневодненому середовищі, при високому вмісті калію і натрію. Така ДНК має дещо змінену спіралізацію; в) С-форма - має менше основ на один виток, а значить інші - фізичні характеристики; г) Z-форма - на відміну від інших форм, закручена вліво. Деякі форми при зміні фізіологічних умов можуть переходити одна в одну, що додатково регулює роботу генів. Знання структури ДНК дозволило зрозуміти суть багатьох молекулярно-генетичних процесів.

Отже, в молекулі ДНК можна виділити *первинну* структуру - послідовність нуклеотидів у ланцюгу, *вторинну* структуру - два комплементарні антипаралельні ланцюги, з'єднані водневими зв'язками, і *третинну* структуру - тривимірну спіраль. Зазначимо, що: а) геометрія спіралі ДНК залежить від послідовності нуклеотидів; б) значна частина ДНК не кодує білків або РНК; в) кожний ген - це складна функціонально-активна одиниця, призначена для регульованого синтезу РНК.

Рибонуклеїнові кислоти (РНК). Спадкова інформація зберігається в молекулі ДНК. Проте ДНК не бере участі в життєдіяльності клітин. Роль посередників у передачі спадкової інформації від ДНК у цитоплазму відіграють рибонуклеїнові кислоти. Взаємовідносини ДНК, РНК і білків можна представити у вигляді схеми ДНК → РНК → білок.

У цьому випадку один з ланцюгів ДНК є матрицею для молекул РНК, що, зокрема, є матрицями синтезу білків або входять до складу рибосом чи переносять амінокислоти.

РНК мають вигляд довгих нерозгалужених полімерних молекул, що складаються з одного ланцюга. У частини вірусів РНК є носієм спадкової інформації за відсутності ДНК. Деякі РНК мають каталітичну активність на певні клітинні процеси. РНК - полімер рибонуклеотидів, що складаються із фосфорної кислоти, рибози й азотистих основ (аденін, гуанін, цитозин, урацил). Рибоза разом із залишками фосфорної кислоти утворює скелет молекули, на якому розташовані азотисті основи. Усі різновиди РНК синтезуються на молекулах ДНК за участю ферментів РНК-полімераз на основі принципу комплементарності. При цьому в синтезованій молекулі аденін ДНК комплементарний урацилу РНК, а гуанін - цитозину. Якщо вміст ДНК у клітинах постійний, то вміст РНК дуже коливається у залежності від типу клітини, інтенсивності метаболізму і синтезу білків.

Молекули РНК мають багато спільного зі структурою ДНК, але відрізняються низкою **ознак**: а) вуглеводом РНК є рибоза, б) РНК не містить тиміну, його місце в молекулі займає урацил, в) РНК - одноланцюгова молекула, г) правила Чаргаффа не виконуються.

Типи РНК. На основі розміру, структури і функції молекул розрізняють три типи РНК. характерних як для прокариотів, так і для еукаріотів.

Інформаційна РНК (іРНК). її молекули утворюються на певних ділянках ДНК, мають назву *структурних генів*, у вигляді комплементарної копії ділянки одного з її ланцюгів. Вони несуть закодовану інформацію первинної структури білків у цитоплазму, де прикріплюються до рибосом і реалізують цю інформацію.

Інформаційна РНК є матрицею для синтезу поліпептидів (білків), тому її називають *також матричною*. Матрична РНК є шаблоном, на якому будуються поліпептиди відповідно до закладеної генетичної інформації. Звичайно, вона несе інформацію про синтез тільки однієї молекули білка - це так звана *моноцистронна іРНК*. Інформаційна РНК містить інформацію про порядок розташування амінокислот у синтезованому білку. Розташування амінокислот кодується чіткою послідовністю нуклеотидів у молекулі іРНК (генетичний код). Кожній амінокислоті відповідає свій триплет нуклеотидів (кодон). Молекули іРНК складаються з 300-3000 нуклеотидів. Вони становлять 0,5-3,0 % маси всіх РНК клітини. Інформаційна РНК утворюється в ядрі у вигляді незрілої про-іРНК, яка містить і неінформативні послідовності нуклеотидів - інтрони. В результаті процесингу (вирізання інтронних ділянок) вона "дозріває" і надходить у цитоплазму, де відразу приєднується до рибосом. Проте іноді іРНК може накопичуватися у клітинах, зв'язуватися із спеціальними білками, що "консервують" її, з утворенням *інформосом*. У такому вигляді інформація може тривалий час

зберігатися у клітинах. Поштовхом для їх використання є фізіологічні зміни в клітині, що призводять до активації синтезу білка. Наприклад, в овоциті накопичується багато інформосом, а їх іРНК починає функціонувати тільки після запліднення.

*Транспортна РНК (тРНК).* Молекули тРНК утворюються на спеціальних генах. Транспортні РНК короткі, одониткові, мають форму листка конюшини завдяки комплементарному сполученню основ на різних ділянках ланцюга, складаються з невеликого числа нуклеотидів - 75-90. Від загальної маси РНК на тРНК припадає близько 10-15 %. Молекули тРНК переносять до місць синтезу білків тільки відповідні їм амінокислоти з цитоплазми. Кожній амінокислоті відповідає своя тРНК внаслідок особливостей нуклеотидної послідовності та просторової структури. Молекули тРНК мають чотири важливі ділянки: а) транспортну; б) антикодон; в) ділянку приєднання фермента; г) ділянку зв'язування з рибосоною.

До транспортної ділянки приєднується специфічна амінокислота. Вона утворена двома комплементарними кінцевими ділянками РНК, 3'-кінець якої складається з семи пар основ, він довший і формує односторонню ділянку, що закінчується послідовністю ЦЦА з вільною ОН-групою. До цієї групи приєднується амінокислота, що транспортується.

Антикодон складається з п'яти нуклеотидів. У центрі - три специфічних рибонуклеотиди (триплет). Азотисті основи антикодона мають комплементарний триплет на ланцюгу іРНК, цей триплет називається *кодоном*. У період синтезу білка антикодон знаходить відповідний йому кодон на іРНК і тимчасово приєднується до нього водневими зв'язками.

Ділянка приєднання ферменту - це спеціальна частина молекули тРНК для специфічного зв'язування з ферментом аміноацил-тРНК-синтетазою, що каталізує приєднання амінокислоти до молекули тРНК.

Ділянка зв'язування з рибосоною - особлива частина молекули (певна послідовність нуклеотидів) тРНК, що потрібна для прикріплення до рибосоми.

*Рибосомальна РНК (рРНК).* Рибосомальна РНК утворюється на спеціальних генах ДНК в ядрі. Рибосомальна РНК - велика одностороння розгалужена молекула, що включає 3000-5000 нуклеотидів. Із загальної маси РНК на її частку припадає до 90 %. У каріоплазмі рРНК і різні білки об'єднуються у співвідношенні 1:1 для утворення малих і великих субодиниць рибосом.

Рибосомальна РНК утворює структурний каркас рибосоми, їй належить важлива роль у процесі синтезу білків. Рибосомальна РНК забезпечує зв'язування іРНК з рибосомами за допомогою певних послідовностей нуклеотидів. Таким чином встановлюється початок і рамка зчитування інформації з іРНК. Багато білків рибосом виконують не тільки структурну, але й ферментативну функцію.

Таким чином, чотири різновиди нуклеїнових кислот мають багато спільного в будові, але виконують різноманітні функції.

#### 4. Реплікація ДНК.

Унікальна властивість молекули ДНК подвоюватися перед поділом клітини називається *реплікацією*. Ця властивість зумовлена особливістю будови молекули ДНК, що складається з двох комплементарних ланцюгів. Реплікація відбувається в ядрі під час S-періоду інтерфази. На цей час хромосоми під світловим мікроскопом не виявляються.

Встановлено (М. Мезельсон, Ф. Сталь), що в процесі реплікації дві нитки ДНК розділяються, кожна з них є шаблоном (матрицею) для синтезу вздовж неї нової нитки. Послідовність основ, що повинні бути в нових нитках, можна легко передбачити, тому що вони комплементарні основам, що присутні у старих нитках. Таким чином, утворюються дві дочірні молекули, ідентичні материнській. Кожна дочірня молекула складається з однієї старої (материнської) нитки й однієї нової нитки.

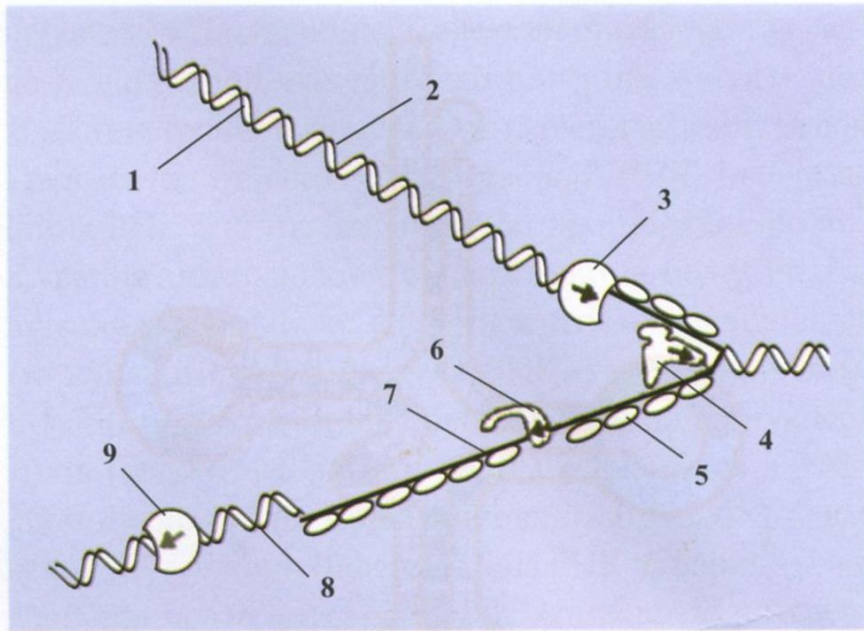
Механізм реплікації ДНК. Реплікація ДНК -складний, багатоступеневий процес, що вимагає залучення великої кількості спеціальних білків і ферментів. Наприклад, ініціаторні білки утворюють реплікаційну вилку, ДНК-топоізомерази розкручують ланцюги, ДНК-геліказа і дестабілізуючий білок розщеплюють ДНК на два окремих ланцюги, ДНК-полімераза і ДНК-праймаза каталізують полімеризацію нуклеотидтрифосфатів і утворення нового ланцюга, ДНК-лігази руйнують РНК-затравки на відстаючих ланцюгах ДНК та ін .*Рис 1.53* . Процес відбувається аналогічно як у прокаріотів, так і в еукаріотів, хоча дещо відрізняється за швидкістю, спрямованістю, кількістю точок реплікації тощо. Швидкість реплікації в еукаріотів дуже велика і складає 50 нуклеотидів за секунду, а в прокаріотів ще вища - до 2000 нуклеотидів за секунду.

Точність реплікації забезпечується комплементарною взаємодією азотистих основ матричного ланцюга і ланцюга, що будується. Крім цього, весь процес контролюється ДНК-полімеразою, що самокорегує та усуває помилки синтезу.

##### Значення реплікації:

- а) процес є важливим молекулярним механізмом, що лежить в основі всіх різно видів поділу клітин про- й еукаріотів;
- б) забезпечує всі типи розмноження як одноклітинних, так і багатоклітинних організмів;
- в) підтримує сталість клітинного складу органів, тканин і організму внаслідок фізіологічної регенерації;
- г) забезпечує тривале існування окремих індивідуумів; д) забезпечує тривале існування видів організмів; е) процес сприяє точному подвоєнню інформації;
- ж) у процесі реплікації можливі помилки (мутації), що може призводити до

порушень синтезу білків з розвитком патологічних змін.



**Рис. 1.53**

Процес реплікації ДНК: 1 – синтезований ланцюг; 2 – матриця для синтезу ведучого ланцюга; 3 – ДНК-полімераза на ведучому ланцюгу; 4 – ДНК-геліказа; 5 – дестабілізуючий білок; 6 – ДНК-праймаза; 7 – праймер; 8 – матриця для синтезу відстаючого ланцюга; 9 – ДНК-полімераза на відстаючому ланцюгу.

#### **4. Реалізація спадкової інформації. Транскрипція. Процесинг – сплайсинг. Трансляція.**

Генна експресія - це молекулярний механізм реалізації спадкової Інформації, завдяки якому ген виявляє свій потенціал конкретною фенотипною ознакою організму.

Процес експресії гена складається з кількох етапів:

1. Код гена ДНК перетворюється в код про-іРНК. Перший етап експресії називається "транскрипцією".
2. Складна молекула про-іРНК зазнає "процесингу", внаслідок чого значно зменшується за розмірами. Утворюється зріла іРНК, зчитування інформації з якої спрощується. Біологічний зміст процесингу - полегшення доступу до спадкової інформації.
3. Інформаційна РНК за участю тРНК вибирає необхідні амінокислоти і зв'язує їх на рибосомі відповідно до послідовності амінокислот у молекулі білка. Цей процес називається *трансляцією*.
4. Синтезований поліпептид зазнає модифікації і впливає на морфологічну або функціональну ознаку (фенотип) клітини або організму. Цей процес на

зивається "експресією".

Всі етапи експресії генів відбуваються з використанням енергії під впливом десятків ферментів.

Процес експресії наведений на рис. 1.64 на прикладі гена  $\beta$ -ланцюга гемоглобіну. Основою експресії генів є молекулярні процеси транскрипції, процесингу, трансляції і модифікації.

У процесі транскрипції бере участь не тільки інформативна частина гена, але й інші регуляторні і структурні ділянки. Про-іРНК містить багато елементів, які характерні для ДНК. Процесинг істотно модифікує про-іРНК, яка перетворюється на іРНК і містить значно менше структурно-функціональних елементів. Внаслідок трансляції на основі іРНК утворюються молекули цілком іншої природи - білки, що не мають нічого спільного з нуклеїновими кислотами, мають інші властивості та організацію. Модифікація поліпептиду призводить ще до одного природного явища - появи складної просторової організації молекули білка. Відбувається перехід лінійної інформації ДНК і РНК у просторову організацію протеїну, що, зокрема, є складовою специфічної просторової взаємодії молекул у живому організмі, яка є основою життя.

Регуляція експресії генів. Генетичний апарат - це тонко регульована система. Відомо, що гени не проявляють постійної активності. Ген перебуває в неактивному стані, але коли є необхідність, він активується, а це, зокрема, зумовлює синтез відповідного білка. Таким чином, клітинам властивий механізм, що контролює кількість будь-якого ферменту в певний проміжок часу. Синтез білків регулюється генетичним апаратом і факторами внутрішнього і зовнішнього середовища.

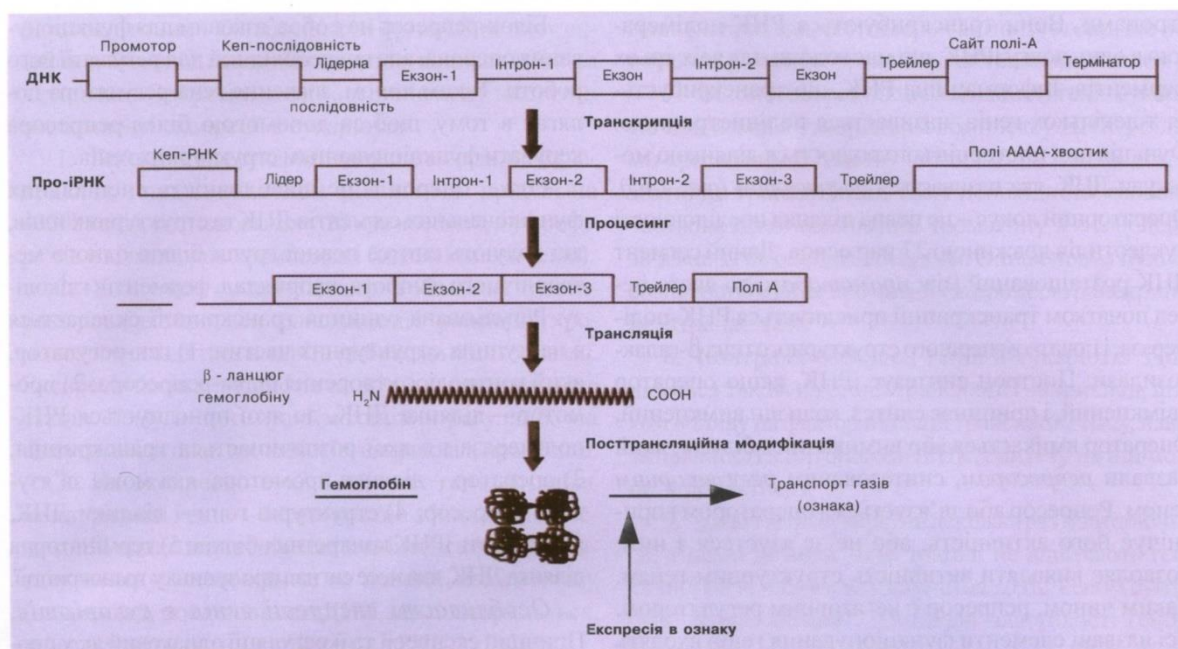


Рис. 1.64

Етапи експресії бета-ланцюга гена гемоглобіну.

Молекули ДНК кожної клітини містять інформацію для синтезу всіх необхідних їй білків. Молекули ДНК містяться в ядрі, а синтез білків відбувається в цитоплазмі. ДНК не може переміщуватися до місця синтезу білків у цитоплазму. Вона передає інформацію про структуру білків за участю специфічних молекул іРНК, що утворюються на ДНК і переносяться з ядра в цитоплазму до місця синтезу білків. У синтезі білків беруть участь також інші РНК (тРНК і рРНК). Утворення молекул РНК на матриці ДНК називається **транскрипцією**. Цей процес відбувається, в основному, під час інтерфази. На генах матриці ДНК утворюються всі три типи РНК -інформаційна, транспортна і рибосомальна.

Зчитування спадкової інформації з генів регулюється спеціальними білками. Зокрема, гістони не тільки забезпечують структурну організацію хроматину, але є репресорами, тому що перешкоджають зчитуванню генетичної інформації. Початок зчитування генетичної інформації пов'язаний зі звільненням певної ділянки ланцюга ДНК (гена) від гістонів, після чого ген активується і з нього починається зчитування спадкової інформації. Негісто-нові білки мають здатність розпізнавати гени, і цим забезпечується синтез необхідних білків.

### **Основні етапи транскрипції:**

1. *Ініціація*. За сигналом з цитоплазми певна ділянка подвійної спіралі ДНК розкручується і розділяється на два ланцюги. Це відбувається за допомогою ферменту гелікази, що зв'язується з ДНК. Ферменти РНК-полімерази забезпечують утворення РНК, що зростають у довжину по мірі просування ферменту уздовж нитки ДНК.

2. *Елонгація* - процес нарощування полінуклеотидного ланцюга. Відповідні рибонуклео-тиди приєднуються до матричного ланцюга, згодом об'єднуються один з одним залишком фосфорної кислоти, створюючи ланцюг РНК. Процес каталізується РНК-полімеразою і вимагає присутності іонів  $Mg^{2+}$  або  $Mn^{2+}$ . Утворення іРНК відбувається на основі принципу комплементарності ланцюгів ДНК і РНК та антипаралельно відносно матричного ланцюга ДНК. Таким чином, сформований ланцюг РНК містить азотисті основи, комплементарні основам ланцюга ДНК, уздовж якого вони утворилися.

Різні типи РНК в еукаріотів: інформаційна РНК (іРНК), рибосомальна РНК (рРНК) і транспортна РНК (тРНК) транскрибуються на різних ділянках (генах) молекул ДНК.

3. *Термінація*. РНК-полімераза рухається вздовж ланцюга ДНК і поступово переписує інформацію на РНК. Цей процес завершується за досягнення ферментом специфічної нуклеотидної послідовності, що сигналізує про завершення транскрипції (термінатори транскрипції - АТТ, АЦТ і АТЦ). Ділянка

молекули ДНК, що містить промотор, послідовність, яка транскрибується, та термінатор, називають *транскриптомом*.

Ланцюг про-іРНК відокремлюється від матричного ланцюга ДНК, зазнає процесингу і переноситься в цитоплазму крізь пори в ядерній оболонці. Вільна від іРНК ділянка молекули ДНК знову зв'язується водневими зв'язками з комплементарною ділянкою другого ланцюга. ДНК скручується в спіраль і набуває початкової форми. Окрема молекула ДНК може бути матрицею для синтезу багатьох копій різних молекул РНК, що утворюються одна за другою.

**Процесинг.** Молекулярні механізми, пов'язані з "дозріванням" різних типів РНК, називаються *процесингом*. Вони здійснюються в ядрі перед виходом РНК із ядра в цитоплазму.

Існувала думка, що іРНК комплементарна будові ДНК, яка є матрицею. З'ясувалося, що комплементарною ДНК є тільки молекула-попередниця інформаційної РНК (про-іРНК). Молекули про-іРНК набагато більші, ніж зрілі іРНК. Послідовність азотистих основ у молекулі про-іРНК, що утворилася, точно відтворює порядок чергування основ у ДНК. Під час "дозрівання" інформаційної РНК у бактерій відбувається тільки відщеплення кінців молекул, а в еукаріотів і деяких вірусів цей процес набагато складніший. Молекула про-іРНК містить у собі ряд інертних ділянок (інтронів), що не мають генів.

У процесі "дозрівання" іРНК спеціальні ферменти вирізають інтрони і зшивають активні ділянки, що залишилися (екзони). Цей процес називається *сплайсингом*. Тому послідовність нуклеотидів у дозрілої іРНК не є цілком комплементарною нуклеотидам ДНК. В іРНК поруч можуть стояти такі нуклеотиди, комплементарні яким нуклеотиди в ДНК знаходяться один від одного на значній відстані.

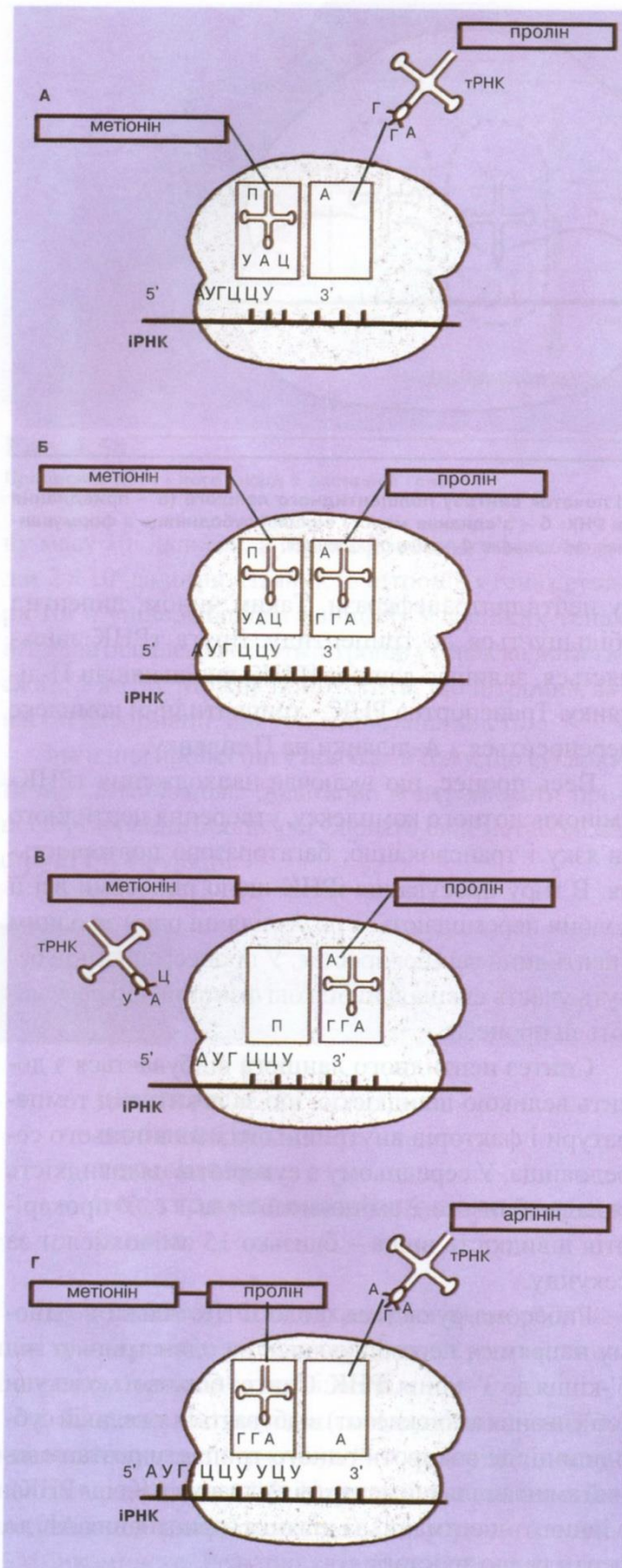
*Сплайсинг* - дуже точний процес. Його порушення змінює рамку зчитування при трансляції, що призводить до синтезу іншого пептиду. Точність вирізання інтронів забезпечується розпізнаванням ферментів певних сигнальних послідовностей нуклеотидів у молекулі про-іРНК.

У процесингу бере участь цілий ряд ферментів. Наприклад, за допомогою ферментів-рестриктаз вирізаються інтронні ділянки, а екзонні ділянки, що залишаються, зшиваються за допомогою ферментів лігаз. Отже, молекули іРНК або тРНК, що утворюються, мають менші розміри, ніж їх структурні гени. Наприклад, молекули про-іРНК мають молекулярну масу  $10^7$  дальтон, а після процесингу вона складає  $2 \cdot 10^6$  дальтон. Наявність інтронів у генах еукаріотів є універсальним явищем. У великих генах інтронів більше. Кількість інтронів у генах коливається від 1 до 50. Можна припустити, що інтрони є запасом інформації, що зумовлює мінливість.

Значення процесингу полягає в тому, що еукаріотична клітина може додатково контролювати процеси утворення білків, регулювати свій метаболізм, структуру і функції.

Процес синтезу білків (*трансляція*), як реплікація і транскрипція, умовно поділяється на три етапи: ініціацію, елонгацію і термінацію.

1. *Ініціація*. Розпочинається з активації амінокислот. Амінокислоти (АК) в цитозолі



клітини вступають в реакцію з АТФ. Цей комплекс називається активованою амінокислотою. Так формується АК-АМФ-комплекс. Реакцію каталізує фермент аміноацил-тРНК-синтетаза. Для кожної амінокислоти існує свій особливий фермент.

Амінокислота + АТФ + фермент → Амінокислота-АМФ-ферментативний комплекс + Р~Р.

Активована амінокислота приєднується до своєї специфічної тРНК. Реакція каталізується тим же ферментом. тРНК-амінокислотний комплекс, що утворився, називається навантаженою тРНК (аміноацил-тРНК). Процес розпізнавання амінокислот тРНК називають *рекогніцією*.

*Активація рибосом і початок синтезу поліпептидного ланцюга.*

2. *Елонгація* (подовження поліпептидного ланцюга). Друга, навантажена, наприклад, проліном, тРНК з'єднується з рибосомою на ділянці А (рис. 1.60 А, Б), її антикодон зв'язується з комплементарним кодоном ланцюга іРНК. На ділянці П метіонін звільняється від своєї тРНК і з'єднується пептидним зв'язком з проліном (рис. 1.60 В). Процес каталізує фермент

Рис. 1.60

Механізм елонгації поліпептидного ланцюга.

пептидилтрансфераза. У цьому процесі зв'язок між першою амінокислотою та її тРНК розривається і -COOH група першої амінокислоти утворює пептидний зв'язок з вільною -NH<sub>2</sub> групою другої амінокислоти. Таким чином, друга тРНК уже несе дипептид. Перша тРНК, тепер вільна, відокремлюється від П-ділянки рибосоми і повертається у загальний фонд тРНК у цитоплазмі (рис. 1.60 В). Тут вона може знову зв'язуватися зі своєю амінокислотою. тРНК-дипептидний комплекс разом з іРНК переміщається в напрямку П-ділянки рибосоми (рис. 1.60 Г). Цей процес називається *транслокацією*.

Третя молекула тРНК зі специфічною їй амінокислотою, наприклад, аргініном, надходить до А-ділянки рибосоми і приєднується своїм анти-кодоном до комплементарного кодону іРНК (рис. 1.60 Г).

3. *Термінація* (закінчення синтезу та вивільнення поліпептидного ланцюга). У кінці ланцюга іРНК знаходиться один із "стоп"-кодонів (УАА, УАГ, УГА). Вони не розпізнаються жодною тРНК. Фактор термінації (спеціальний білок) приєднується до цього кодону і блокує подовження поліпептидного ланцюга. Як наслідок, до останньої амінокислоти синтезованого білка приєднується вода і її карбоксильний кінець відокремлюється від тРНК. Зв'язок між останньою тРНК і поліпептидним ланцюгом розривається спеціальними ферментами -факторами вивільнення. Рибосома відокремлюється від ланцюга іРНК і розпадається на дві субодиниці. Синтезований поліпептид звільняється і потрапляє в цитоплазму. Кожна молекула іРНК транскрибується декілька разів, а згодом руйнується. Середній час "життя" іРНК складає приблизно 2 хв. Вибірково руйнуючи старі й створюючи нові іРНК, клітина може регулювати як якісний, так і кількісний склад білків, а значить, рівень і спрямованість метаболізму.

### ***Значення трансляції.***

Білковий синтез є основою поділу, диференціювання, росту й розвитку, забезпечує особливості метаболізму і функцій. Білки сприяють об'єднанню клітин у групи, що призводить до утворення тканин і органів. Будь-які порушення трансляції та синтезу білків спричиняють порушення метаболізму, функцій, що призводить до появи хвороб.

*Генетичний код ДНК.* Унікальність кожної клітини полягає в унікальності її білків. Клітини, що виконують різні функції, здатні синтезувати свої власні білки, використовуючи інформацію, що записана в молекулі ДНК. Ця інформація існує у вигляді особливої послідовності азотистих основ у ДНК і називається *генетичний кодом*.

М. Гамов ще в 1954р. припустив, що кодування інформації в ДНК може здійснюватися сполученням декількох нуклеотидів. Порядок азотистих основ у іРНК, що побудована відповідно до матриці ДНК, визначає порядок зв'язування амінокислот у синтезованому поліпептиді. Встановлено, що кожна амінокислота кодується послідовністю трьох азотистих основ (триплетом, або кодоном). Одне з визначних досягнень біології ХХ століття -

розшифрування триплетного генетичного коду. Генетичний код є послідовністю триплетів у молекулі ДНК, що контролює порядок розташування амінокислот у молекулі білка.

Послідовність нуклеотидів у молекулі ДНК кодує певну послідовність нуклеотидів в іРНК. Кожний триплет нуклеотидів кодує одну конкретну амінокислоту. Внаслідок трансляції, на основі генетичного коду на рибосомах синтезується необхідний білок.

Чотири азотистих основи в комбінаціях по 3, тобто  $4^3$ , можуть утворити 64 різних кодони. У молекулі ДНК кожна основа входить до складу лише одного кодону. Тому код ДНК не перекривається. Кодони розташовуються один за одним безперервно. Оскільки можливих варіантів кодонів 64, амінокислот - 20, то певні амінокислоти можуть кодуватися різними триплетами (кодонами-синонімами). Внаслідок цього генетичний код називають *вироджений* або *надмірним*. Дублюючі триплети відрізняються лише за третім нуклеотидом. Є декілька амінокислот, які кодуються 3-4 різними кодонами (наприклад, амінокислота аланін кодується триплетами ЦГА, ЦГГ, ЦГТ, ГЦГ). Поряд з ними є амінокислоти, які кодуються двома триплетами, і тільки дві амінокислоти - одним. Однак кожний триплет кодує тільки одну певну амінокислоту, що свідчить про його специфічність. Крім того, деякі триплети (АТТ, АЦТ, АТЦ) не кодують амінокислоти, а є своєрідними "точками" термінації процесу зчитування інформації. Якщо процес синтезу доходить до такої "точки" в молекулі ДНК, синтез даної РНК припиняється. Встановлено кодони для всіх 20 амінокислот. Послідовність триплетів у ДНК визначає порядок розташування амінокислот у молекулі білка, тобто має місце *колінуарність*. Це означає, що положення кожної амінокислоти в поліпептидному ланцюгу залежить від положення триплету в ДНК. Численними дослідженнями встановлена *універсальність* генетичного коду. Він однаковий для всіх живих організмів, від бактерій до рослин і ссавців. Тобто у всіх живих організмів той самий триплет кодує ту ж амінокислоту. Це один з найбільш переконливих доказів спільності походження живої природи.

*Таким чином, генетичний код ДНК має такі фундаментальні характеристики:*

- 1) триплетність (три сусідні азотисті основи називаються *кодоном* і кодують одну амінокислоту);
- 2) специфічність (кожний окремий триплет кодує тільки одну певну амінокислоту);
- 3) неперекривність (жодна азотиста основа одного кодону ніколи не входить до складу іншого кодону);
- 4) відсутність розділових знаків (генетичний код не має "пунктуаційних позначок" між кодуючими триплетами у структурних генах);
- 5) універсальність (даний кодон у ДНК або іРНК визначає ту саму амінокислоту в білкових системах всіх організмів від бактерій до людини);

- 6) надмірність (одна амінокислота часто має більш ніж один кодовий триплет);  
 7) колінеарність (ДНК є лінійним полі-нуклеотидним ланцюгом, а білок - лінійним поліпептидним. Послідовність амінокислот у білку відповідає послідовності триплетів у його гені. Тому ген і поліпептид, який він кодує, називають колінеарними);  
 8) відповідність гени - поліпептиди (клітина може мати стільки поліпептидів, скільки має генів).

*Генетичний код іРНК.* При транскрипції закодована інформація з матричного ланцюга ДНК переписується на комплементарну молекулу ДНК. При цьому генетичний код ДНК перекладається в генетичний код іРНК. Код іРНК комплементарний коду ДНК. Наприклад, якщо в матричному ланцюгу ДНК розташовані ААГЦТАТГЦЦААА, то в молекулі іРНК знаходиться УУЦГАУАЦГГУУУ. Таким чином, ті ж самі амінокислоти кодуються на молекулі іРНК комплементарними триплетами (табл. 1.10). Характеристики коду іРНК такі ж, як і для ДНК. Крім цього, іРНК має старт-кодон АУЦ, який вмикає початок синтезу, а стоп-кодони УАА, УАГ, УГА зупиняють процес трансляції. Процес зчитування інформації відбувається в одному напрямку. Так, якщо в молекулі іРНК азотисті основи будуть розташовуватися в такому порядку: ААА ЦЦЦ УГУ УЦУ..., це означає, що послідовно закодовані такі амінокислоти: лізин,

ТАБЛИЦЯ 1.10. ГЕНЕТИЧНИЙ КОД іРНК

Положення азотистої основи в кодоні									
1-е	2-е								3-е
	У		Ц		А		Г		
У	УУУ	Фен	УЦУ	Сер	УАУ	Тир	УГУ	Цис	У
	УУЦ		УЦЦ		УАЦ		УГЦ		Ц
	УУА	Лей	УЦА		УАА	"Стоп"	ЦГА	"Стоп"	А
	УУГ		УЦГ		УАГ		УГГ	Тре	Г
Ц	ЦУУ	Лей	ЦЦУ	Про	ЦАУ	Гіс	ЦГУ	Арг	У
	ЦУЦ		ЦЦЦ		ЦАЦ		ЦГЦ		Ц
	ЦУА		ЦЦА		ЦАА	ЦГА	А		
	ЦУГ		ЦЦГ		ЦАГ	ЦГГ	Г		
А	АУУ	Лей	АЦУ	Тре	ААУ	Асп	АГУ	Сер	У
	АУЦ		АЦЦ		ААЦ		АГЦ		Ц
	АУА		АЦА		ААА	АГА	А		
	АУГ	Мет; "Початок"	АЦГ		ААГ	Ліз	АГГ	Арг	Г
Г	ГУУ	Вал	ГЦУ	Ала	ГАУ	Асп	ГГУ	Глі	У
	ГУЦ		ГЦЦ		ГАЦ		ГГЦ		Ц
	ГУА		ГЦА		ГАА	ГГА	А		
	ГУГ		ГЦГ		ГАГ	ГГГ	Г		

пролін, цистеїн, серин. Саме в цій послідовності вони повинні знаходитися в поліпептидному ланцюгу при синтезі білка. Якщо в першому триплеті іРНК буде втрачений один аденін, то порядок основ набуде такого вигляду: АА ЦЦЦ УГУ УЦУ... В результаті склад всіх триплетів зміниться. Перший триплет стане не ААА, а ААЦ. Подібний триплет кодує аспарагінову амінокислоту, а не лізин, як

раніше. Другий триплет стане вже не ЦЦЦ, а ЦЦУ і т. д. Те ж відбувається при вставці нових основ. Таким чином, зникнення або вставка лише однієї основи може порушити синтез певної молекули білка.

Розв'язування задач.

### 1. Будова білків.

Для розв'язування цього типу задач необхідно знати лінійні розміри амінокислот і їх середню молекулярну масу.

$L$  - лінійні розміри амінокислоти.  $l$  амінокислоти = 0,35 нм  $l$  нм(нанометр) = 0,000001 мм  $M$  -молекулярна маса.  $M$  амінокислоти = 110 дальтон.

#### Задача 1.

Молекулярна маса білка каталази 224000 дальтон. Скільки амінокислотних ланок у цій молекулі ?

Дано:  $M$  каталази = 224000 | Розв'язування:  $n = M \text{ білку} / M$   
амінокислоти

$$M \text{ амінокислоти} = 110 \quad | \quad n = 224000 / 110 = 2036.$$

Знайти:  $n$  амінокислотних ланок ?

Відповідь: У цій молекулі 2036 амінокислотних ланок.

**Задача 2.** Молекулярна маса білка пепсин 35500 дальтон. Яка довжина первинної структури цього білка?

Дано:  $M$  пепсину = 35500 дальтон | Розв'язування : 1. Визначаємо кількість аміно-

$M$  амінокислоти = 110 дальтон | кислот  $n = 35500 / 110 =$   
323 .

$l$  амінокислоти = 0,35 нм | 2.Визначаємо довжину білка  
 $l = n \cdot l$  амінокислоти де  $n$  -

кількість

Знайти :  $l$  білка ?

амінокислот.

$$l = 323 \cdot 0,35 = 113,05 \text{ нм.}$$

Відповідь: Довжина первинної структури цього білка становить 113,05 нм.

## 2. Нуклеїнові кислоти.

Молекулярна маса одного нуклеотиду - 330 дальтон. Лінійні розміри одного нуклеотиду - 0,35 нм.

**Задача 3.** У молекулі ДНК аденілові нуклеотіди складають 15% від загальної кількості. Визначте процентний вміст інших видів нуклеотидів.

Дано:	Розв'язування:
A = 15 %	1. За правилом Чаргафа (компліментарність) A=T, Г=Ц, то
T = 15%.	
-----	2. T + A = 15% + 15% = 30%
Знайти:	3. (A + T) + (Г + Ц) = 100%   опреділяємо (Г + Ц) = 100% -
(A + T)	
T(%) - ?	(Г + Ц) = 100% - 30% = 70%
Ц (%) - ?	4. Г = Ц 70% / 2 = 35 %
Г (%) - ?	

Відповідь : T = 15%, Г = 35%, Ц = 35%.

**Задача 4.** Яка довжина фрагменту ДНК, що складається з 30 нуклеотидів ?

Дано:	Розв'язування:
n нуклеот. = 30	1. 30 нуклеотидів відповідає 15 парам нуклеотидів ( або це
-----	нуклеотидів однієї з ниток ДНК).
Знайти : l ДНК - ?	2. Оскільки розміри одного нуклеотиду 0,34 нм, то довжина
	фрагменту ДНК становитиме l ДНК = 15 · 0,34 нм =
	5,1 нм.

Відповідь : Довжина фрагменту ДНК, що складається із 30 нуклеотидів становить 5,1 нм.

**Задача 5.** Одна із спіралей фрагменту ДНК має такий склад нуклеотидів :

-Г-Г-Г-Ц-А-Т-А-А-Ц-Г-Ц-Т-. 1. Визначте порядок чергування нуклеотидів у другій спіралі фрагменту ДНК. 2. Обчисліть, яка довжина даного фрагменту. 3. Визначте процентний вміст кожного нуклеотиду в даному фрагменті ДНК.

Розв'язування: 1. -Г-Г-Г-Ц-А-Т-А-А-Ц-Г-Ц-Т-

↓

-Ц-Ц-Ц-Г-Т-А-Т-Т-Г-Ц-Г-А- 12 пар нуклеотидів - 24 нуклеотиди.

2.1 ДНК = 12 · 0,34 = 4,08 нм.

3. Встановлюємо процентний вміст кожного нуклеотиду в фрагменті ДНК.

A=5 T=5 A=T = (5x 100%)/24 = 20,8% Г= 7 Ц= 7 Г=Ц= ( 7 x 100%) / 24= 29,2 %

Відповідь: 1. -Ц-Ц-Ц-Г-Т-А-Т-Т-Г-Ц-Г-А-

2. 1 ДНК = 4,08 нм.

3. A = 20,8%, T = 20,8%, Г = 29,2%, Ц = 29,2%

### Розв'яжіть задачі.

А). Скільки і яких видів вільних нуклеотидів необхідно для редуплікації молекули ДНК, в якій  $A = 600$ , а  $G = 2400$  ?

Б). Як зміниться структура білку, якщо з кодуєчої його ділянки ДНК: -Ц-Т-А-Т-А-Г-Т

- А-А-Ц-Ц-А-А видалити дев'ятий нуклеотид ?

В). Одна з ланок гена має таку послідовність -Г-Г-А-Т-Т-А-Ц-Г-А-Т-А-Г-Ц-Ц-Ц-  
Проведіть транскрипцію та визначте довжину про-іРНК.

### Тестовий контроль

1. Один з ланцюгів ДНК складається з нуклеотидів: АТЦ-АЦЦ-ГАЦ-АЦГ-ЦАЦ.  
Яка послідовність нуклеотидів на другому ланцюзі цієї молекули ДНК?

- а) ТТГ-ЦГТ-ГТЦ-ТГГ-ТТТ...
- б) ТГТ-ЦГУ-ГТЦ-ГЦГ-АТЦ...
- в) ТАГ-ТГГ-ЦТГ-ТГЦ-ГТГ...
- г) ТГГ-ЦГЦ-ГТЦ-ГТГ-ГГЦ...
- д) ГГТ-АГЦ-ТЦГ-ГТГ-ТТЦ...

2. Ким і коли були відкриті нуклеїнові кислоти?

- а) М.Шлейденом у 1839р.
- б) Г.Менделем у 1866р.
- в) І.Мішером у 1869р.
- г) О.Ейвері у 1944р.
- д) Дж.Уотсоном та Ф.Кріком у 1953р.

3. У яких організмів матеріальним субстратом спадковості і мінливості є ДНК?

- а) вірусів.
- б) прокаріотів.
- в) еукаріотів.
- г) вірусів і прокаріотів.
- д) вірусів, прокаріотів і еукаріотів.

4. Які властивості нуклеїнових кислот визначають їх як субстрат спадковості і мінливості?

- а) здатність до самовідновлення.
- б) здатність до реалізації своєї інформації.
- в) здатність зберігати сталість своєї організації.
- г) здатність набувати змін і відтворювати їх.

д) усі варіанти вірно

**5.** Які компоненти є складниками мономерів нуклеїнових кислот?

- а) амінокислота, азотиста основа, пентоза.
- б) амінокислота, азотиста основа, фосфат.
- в) азотиста основа, пентоза, фосфат.
- г) амінокислота, три фосфати.
- д) азотиста основа, три фосфати.

**6.** Які компоненти нуклеотидів входять до складу остову ланцюгів нуклеїнових кислот?

- а) азотисті основи і залишки фосфорної кислоти.
- б) залишки фосфорної кислоти і пентози.
- в) азотисті основи і пентози.
- г) амінокислоти.
- д) жоден варіант невірний.

**7.** Що обумовлює видову специфічність матеріальних носіїв генетичної інформації?

- а) амінокислотний склад.
- б) нуклеотидний склад.
- в) вуглеводний склад.
- г) пентози і фосфати.
- д) ліпіди.

**8.** Особливістю структурної організації ДНК є:

- а) комплементарність мономерів.
- б) паралельність ланцюгів.
- в) антипаралельність ланцюгів.
- г) комплементарність мономерів і паралельність ланцюгів.
- д) комплементарність мономерів і антипаралельність ланцюгів.

**9.** Яке із рівнянь не відповідає правилам Чаргаффа?

- а)  $A+G=T+C$ .
- б)  $A=T$ .
- в)  $G=C$ .
- г)  $A=G$ .
- д) жодне.

**10.** Які рівні структурної організації притаманні ДНК?

- а) первинний.
- б) вторинний.
- в) третинний.
- г) вірно А+В+С.
- д) жоден варіант невірний.

**11.** Відомо, що молекула ДНК в конформаційній формі В утворює навколо своєї осі спіраль, діаметр якої 2 нм, довжина кроку - 3,4 нм. У кожний виток входить 10 пар нуклеотидів. Яку довжину має фрагмент молекули ДНК, до складу якого входить 100 пар нуклеотидів?

- а) 0,34 нм.
- б) 0,17 нм.
- в) 34 нм.
- г) 17 нм.
- д) 340 нм.

**12.** Де розміщений генетичний матеріал еукаріотичної клітини?

- а) в ядрі.
- б) в мітохондріях.
- в) в хлоропластах.
- г) вірно А+В+С.
- д) вірно А+С.

**13.** В чому полягає автосинтетична функція ДНК?

- а) в здатності забезпечувати транскрипцію.
- б) в здатності забезпечувати реплікацію.
- в) в здатності забезпечувати трансляцію.
- г) вірно А+В+С.
- д) жоден варіант невірний.

## Література

*Барціховський В.В., Шерстюк П.Я.* Медична біологія: підручник. — К.: Медицина, 2011. — 312 с.

*Медична біологія: Підручник / За ред. В.П. Пішака, Ю.І. Бажори.* — 2-ге вид., переробл. і допов. — Вінниця: Нова книга, 2009. — 608 с.

*Сабадишин Р.О., Бухальська С.Є.* Медична біологія: підручник. — Вінниця: Нова книга, 2008. — 368 с.

*Путинцева Г.Й.* Медична генетика: підручник. — 2-ге вид., переробл. і допов. — К.: Медицина, 2008. — 392 с.

*Кулікова Н.А., Ковальчук Л.Є.* Медична генетика: підручник. — Тернопіль: Укрмедкнига, 2004. — 173 с.

*Саляк Н.О.* Практикум з медичної біології: навч. посіб. / Н.О. Саляк. — К.: Медицина, 2009. — 152 с.

*Саляк Н.О.* Навчальний посібник з медичної генетики: навч. посіб. / Н.О. Саляк, М.С. Панкевич; за ред. М.Б. Шегедин. — К.: Медицина, 2008. — 144 с.

*Саляк М.О., Смачило І.С.* Медична паразитологія. Практикум: навч. посіб. — К.: Медицина, 2011. — 184 с.

*Мотузний В.О.* Біологія: навч. посіб. / За ред. О.В. Костильова. — К.: Вища шк., 2007. — 751 с.