

№ п/п	Тема, зміст
1.	Закономірності поширення елементів у живій природі. Потреба організмів у хімічних елементах.
2.	Характеристика деяких простих білків.
3.	Біологічний каталіз. Методи біологічної хімії, які використовуються для виділення і очищення ферментів.
4.	Властивості ферментів: термолабільність, залежність активності від рН середовища, специфічність ферментів.
5.	Принципи класифікації ферментів. Сучасний стан класифікації ферментів. Локалізація ферментів у клітині. Промислове виготовлення і практичне використання ферментів.
6.	Роль вітамінів у харчуванні людей і тварин. Співвідношення вітамінів і ферментів.
7.	Значення білкового обміну.
8.	Локалізація ліпідів у клітині і їх біологічне значення.
9.	Вміст і розподіл води в організмі і в клітині.
10	Причини уособлення гормонів в процесі еволюції живої матерії. Характеристика найважливіших з гормонів.
11	Рівні регуляції життєвих процесів у живій природі.

## ЗМІСТ

Хімічний склад організмів.....	2
Білки. Роль білків у побудові живої матерії в процесах життєдіяльності	6
Ферменти. Ферментативна (каталітична) функція білків.....	10
Вітаміни.....	20
Загальні закономірності обміну речовин в організмі людини.....	25
Вуглеводи та їх обмін. Ліпіди та їх обмін.....	27
Обмін води і мінеральних речовин.....	31
Гормони.....	34
Регуляція процесів життєдіяльності.....	44

## Тема 1. Хімічний склад організмів

### ПЛАН:

1. Закономірності поширення елементів у живій природі.
2. Потреба організмів у хімічних елементах.

### *Вимоги до знань та вмінь студентів*

По завершенні вивчення теми студенти повинні знати:

- класифікацію хімічних елементів на макро-, мікро- та ультрамікроелементи;
- характеристику основних класів органічних сполук у складі живої матерії;
- вміст в живих організмах вуглеводів, ліпідів, нуклеїнових кислот, мінеральних речовин

і повинні вміти:

- встановлювати, до якої групи належить певний хімічний елемент в живих організмах;
- пояснювати, якими чинниками визначається добова потреба організму в тих чи інших хімічних елементах;
- характеризувати основні класи органічних сполук у складі живих організмів;
- визначати склад, будову та основні хімічні властивості сполук живого організму;
- записувати хімічні формули і називати найважливіші речовини як приклад органічних сполук того чи іншого класу.

1. Хімічні елементи зустрічаються на Землі далеко не в однакових кількостях. Вивченням їх поширення в земній корі займається геохімія, створена значною мірою завдяки працям російських вчених В.І.Вернадського та О.Є.Ферсмана.

Найпоширенішим елементом земної кори є Оксиген. Друге місце займає Силіцій (27%), за ним ідуть Алюміній, Ферум, Натрій, Калій, Магній та Гідроген. Ці дев'ять хімічних елементів складають понад 98% маси земної кори, так що на долю всіх решти елементів приходить менше 2% маси. В ці 2% входять такі широко застосовувані в народному господарстві елементи, як Купрум, Цинк, Плюмбум, Нікол, Сульфур, Фосфор тощо.

Для характеристики поширення елементів у земній корі академік Ферсман ввів поняття атомних відсотків, тобто відсоткового вмісту в земній корі атомів хімічних елементів. Атомні відсотки і відсотки за масою для одного й того ж елемента суттєво відрізняються, оскільки в останніх потрібно враховувати атомну масу хімічних елементів. Так, Гідроген за кількістю його атомів у земній корі посідає третє місце (17%), а за масою – лише дев'яте (1%).

Якщо оцінювати поширення хімічних елементів у космосі (мається на увазі в Сонячній системі та її найближчому оточенні), то варто відмітити наступні закономірності: поширеність елементів зменшується із зростанням їх протонного числа, найпоширенішими в космосі є Гідроген та Гелій – за масою на три чверті космічна речовина складається саме з них, відносна поширеність атомних ядер з додатнім протонним числом вища, ніж непарним.

Для даного елемента більш поширені нукліди з додатнім числом нейтронів у ядрі і менш поширені – з непарним числом протонів і нейтронів.

Поширеність елементів залежить від багатьох факторів, але в кінцевому результаті визначається ймовірністю ядерних реакцій їх утворення і відносною стійкістю окремих нуклідів.

Вивчення поширеності хімічних елементів висвітлює походження Сонячної системи, Землі, а також дає можливість зрозуміти фізичні та хімічні процеси в космосі, створити теорію утворення хімічних елементів.

2. В організмі людини і тварин відкрито понад 75 хімічних елементів. Шість із них – Карбон, Гідроген, Нітроген, Оксиген, Фосфор та Сульфур – входять до складу вуглеводів, ліпідів, білків, нуклеїнових кислот. Тому ці елементи називають органогенними.

Серед неорганічних елементів близько 20 є життєво необхідними (есенціальними) для людини, оскільки їх дефіцит внаслідок незбалансованого харчування чи надмірних витрат викликає захворювання організму. Неорганічні елементи ділять на групи: мікроелементи, мікроелементи і ультрамікроелементи. Щоденна потреба організму в мікроелементах перевищує 100 мг/добу, для мікроелементів складає декілька міліграмів або мікрограмів, ультрамікроелементів потрібно ще менше. До мікроелементів належать: Натрій, Калій, Кальцій, Магній та Хлор. Основна маса їх в організмі перебуває у вигляді йонів чи мінеральних солей в складі тканин організму. Частина Фосфору теж перебуває у вигляді мінеральних солей. Вміст мікроелементів в організмі перевищує 0,01% від маси тіла.

Хімічні елементи, вміст яких в організмі менший 0,01%, названі мікроелементами.

Як було зазначено, щоденна потреба організму в мікроелементах складає декілька міліграм.

Розглядаючи потребу рослин в хімічних елементах, варто відмітити, що для нормального життєвого циклу рослин потрібні 19 елементів, функції яких у рослині не можуть бути замінені іншими. До цієї групи належать 19 елементів: Карбон, Гідроген, Оксиген, Нітроген, Фосфор, Сульфур, Калій, Кальцій, Магній, Ферум, Манган, Купрум, Цинк, Молібден, Бор, Хлор, Натрій, Силіцій, Кобальт. Щодо трьох останніх елементів, то їх необхідність для вищих рослин не доведена.

Вміст того чи іншого елемента в тканинах рослин непостійне і може муттєво змінюватися під впливом факторів зовнішнього середовища. Наприклад, Алюміній, Нікол, Флор та інші можуть накопичуватися в рослинах до токсичного рівня. Серед вищих рослин зустрічаються види, які різко відрізняються за вмістом у тканинах таких елементів, як Натрій, Кальцій, в зв'язку з чим виділяють групи рослин натрієфілів, кальцієфілів (наприклад, більшість бобових). Ці відмінності обумовлені характером ґрунтів у місцях походження і росту видів, а ще генетично визначеною і закріпленою роллю, яку вказані хімічні елементи відіграють в обміні речовин рослин.

Таким чином, можна сказати, що потреба будь-яких організмів у тих чи інших хімічних елементах визначається генетично визначеною і закріпленою роллю, яку вказані елементи відіграють в обміні речовин і взагалі в процесах життєдіяльності цих організмів.

Добова потреба звичайної дорослої людини у мінеральних речовинах покривається повноцінним раціональним харчуванням із використанням

різноманітної їжі рослинного і тваринного походження. Але під час напружених тренувань, захворювань, використанні різних методів фізичної реабілітації потреба в них збільшується. Існують методи лікування окремих захворювань мінералами (мінералотерапія).

Біологічне значення окремих мінеральних речовин в організмі досить різноманітне.

Таблиця 1. Добова потреба, біологічне значення та вміст у деяких продуктах окремих хімічних елементів

Ел мент	Добова потреба, г, мг	Біологічне значення	Вміст у 100 г продукту, г, мг
Макроелементи, 1 – 0,1 % маси тіла			
Ca	1 – 2	Компонент кісток, зубів. Бере участь у передачі нервових імпульсів на м'язові волокна, запуску скорочення м'язів, зсідання крові, засвоєння Fe, B <sub>12</sub>	Сир твердий–1, халва– 0,8, сир–0,15, молоко–0,12, яйця – 0,05
P	1 – 2	Компонент кісток, зубів. Складова джерел енергії: АТФ, АДФ, креатин фосфату. Входить до складу нуклеїнових кислот. Компонент фосфатних буферних систем, що підтримують кислотно-основну рівновагу	Гриби білі – 0,7, сир твердий – 0,5, бобові – 0,3, крупа вівсяна – 0,36, молоко згущене – 0,21
Mg	0,3 – 2	Компонент кісток. Регулює функцію скелетних м'язів, серцеву діяльність (за відсутності спостерігаються часті судоми). Впливає на процеси синтезу білка, є кофактором багатьох ферментів. Сприяє виведенню холестерину	Бобові – 0,1, хліб пшеничний – 0,8, лісові горіхи – 0,13, банани – 0,04
Na, K	1 – 3, 2 – 6, але надходить 15 – 30	Регулюють функцію нервової системи, процеси збудження. Забезпечують збудження скелетних м'язів. Підтримують осмотичний тиск у рідинах. Регулюють обмін води: натрій затримує воду і утворює набряки, калій – посилює виведення води і йонів натрію	Харчова сіль – 20 – 30, курага – 1 -2, сир твердий – 0,9, бобові – 0,8, хліб житній – 0,6, картопля – 0,6
Cl	3 – 7	Підтримує осмотичний тиск у біологічних рідинах. Регулює обмін води і транспорт йонів, кислотно-основний стан організму. Використовується для утворення хлоридної кислоти в шлунку	Харчова сіль, хліб чорний – 0,8
Мікроелементи, менше 0,1% маси тіла			
Fe	10 – 15	Компонент гемоглобіну та міоглобіну – білків, що транспортують кисень. Компонент цитохромів, що беруть участь в утворенні АТФ	Шипшина – 30, печінка – 20, гречка – 8, яєчний жовток – 6, хліб – 4
Zn	15	Компонент інсуліну. Активатор ряду ферментів, у тому числі карбоангідрази: H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ↔ H <sub>2</sub> O + CO <sub>2</sub> , а також лактатдегідрогенази. Прискорює синтез білка. Проявляє антиоксидантні властивості. Впливає на мунітет	Печінка – 5, хліб чорний – 2, яєчний жовток – 3, риба – 0,5
S	200	Входить до складу коферменту А (КоА – SH), вітаміну B <sub>1</sub> , амінокислот, білків	Хліб чорний – 85, м'ясо, риба, яйця
Cu	3	Потрібен для процесів кровотворення та	Печінка – 3,8, боби –

		енерго-утворення (компонент цитохромів)	1,1, хліб – 0,2
Mn	1 – 5	Активатори ферментів обміну вуглеводів	Печінка – 0,32, м'ясо – 0,15, риба – 0,06
Co	0,02 – 0,04	Використовується для побудови вітаміну B <sub>12</sub> , еритроцитів	Печінка – 0,008, м'ясо – 0,15, хліб – 0,002
J	0,150	Компонент гормону щитовидної залози – тироксину, який підтримує інтенсивність всіх етапів метаболізму	Тріска – 0,26, овочі – 0,05, молоко – 0,03, яйця – 0,02
F	2 – 4	Компонент зубів. Надлишок викликає захворювання зубів – плямистість емалі (флуороз)	Риба – 1,4, борошно – 0,7, м'ясо – 0,5
Se	0,05 – 0,2	Компонент ферментів антиоксидантної системи. Посилює імунну систему. Протионкологічний	М'ясо, риба, молоко

Мінеральні речовини необхідні організму для:

- побудови тіла, його складових сполук: білків, нуклеїнових кислот, гормонів, ферментів, вітамінів та ін;
- підтримання сталості йонного складу внутрішнього середовища організму, що впливає на структуру і функцію клітин і різних молекул;
- підтримання кислотно-основного стану в організмі;
- регуляції обміну речовин, оскільки виступають активаторами багатьох ферментів.

Від їх концентрації та якісного складу залежить функціонування різних систем організму, в тому числі робота м'язів, що забезпечує спортивну діяльність чи створює умови для швидшого відновлення фізичної працездатності спортсменів чи хворих людей.

#### ПИТАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ:

1. Які мінеральні елементи необхідні організму?
2. Що таке елементи – органогени? ...мікроелементи? ...ультрамікроелементи?
3. Яка добова потреба організму в неорганічних елементах?
4. До складу яких продуктів харчування входять мінеральні елементи, необхідні організму для нормального харчування?

## Тема 2. Білки. Роль білків у побудові живої матерії в процесах життєдіяльності

### ПЛАН:

#### 1. Характеристика деяких білків

##### Вимоги до знань та вмінь студентів

По завершенні вивчення теми студенти повинні знати:

- елементарний склад білків, їх класифікацію, номенклатуру;
- основні амінокислоти та їх характеристику;
- структуру білків та механізми утворення вторинної, третинної і четвертинної структури білка;
- схему утворення пептидного зв'язку;
- характеристику окремих простих білків;
- хімічне і фізичне значення відносної молекулярної маси білків;
- основні властивості білків;
- основні кольорові реакції на білки

і повинні вміти:

- визначати групу, до якої належить білок;
- записувати формули основних амінокислот і класифікувати їх;
- записувати рівняння реакцій утворення пептидів з амінокислот та реакцій гідролізу пептидів;
- поводити реакції осадження білків та кольорові реакції на білки.

1. За хімічною структурою компонентів усі білки діляться на дві великі групи: *прості білки*, або протеїни, які побудовані тільки з залишків амінокислот, і *складні білки*, або протеїди, що складаються з простого білку і зв'язаної з ним якоїсь сполуки небілкової природи.

**Протеїни** поділяють на групи залежно від їх розчинності в різних розчинниках.

Розглянемо протеїни, які відносять до найбільш поширених глобулярних білків: альбуміни, глобуліни, гістони, протаміни, проламіни, глутеліни, а також фібрилярні білки: фібриноген, міозин і актин.

**Альбуміни** добре розчиняються у воді, але не розчиняються в насиченому розчині сульфату амонію. Дуже поширені у тваринному і рослинному світі. Мають відносно невелику молекулярну масу. Альбуміни характеризуються підвищеним вмістом лейцину і дуже малою кількістю гліцину. Ізоелектрична точка цих білків становить  $pH \approx 5$ . Вони є складовими компонентами крові, м'язів, молока, цитоплазми майже всіх клітин. Типовими представниками альбумінів є *овальбумін* курячого яйця, *лактальбумін* молока, *сіркоальбумін* сироватки крові.

**Глобуліни** нерозчинні у воді і слабких кислотах, випадають в осад при 50-процентній концентрації сульфату амонію. Добре розчиняються у слабких розчинах нейтральних солей. Глобуліни на відміну від альбумінів містять більшу кількість гліцину. Вони також дуже поширені в організмі тварин і рослин. У вищих організмів глобуліни виконують роль захисних білків, з них утворюються антитіла. У крові людини міститься декілька типів глобулінів -  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -. Деякі з них здійснюють перенесення іонів металів у плазмі: *трансферин* транспортує залізо, *церулоплазмін* - мідь.

**Гістони** - низькомолекулярні білки, розчинні у воді і кислих розчинах, при додаванні аміаку легко випадають в осад. Мають лужний характер завдяки високому вмісту основних амінокислот - аргініну і лізину (25-30%). Гістони локалізовані в ядрі і відіграють важливу біологічну роль в організмі. З'єднуючись з нуклеїновими кислотами, вони зумовлюють їх унікальну структуру, необхідну для біосинтезу білків. Ізоелектрична точка гістонів становить близько 10.

**Протаміни** за своєю розчинністю подібні до гістонів. Це також низькомолекулярні білки, але з більш вираженим основним характером. Протаміни містять більше аргініну і лізину, ніж гістони, — до 50-80% , причому 90% всього азоту в протамінах належить аргініну. Значна кількість протамінів знаходиться в спермі риб, печінці, селезінці, нирках і залозах внутрішньої секреції. Біологічна роль протамінів така ж, як і гістонів.

**Проламіни** - рослинні білки. Погано розчиняються у воді, добре у 60-80-процентному етиловому спирті. Ці білки містять до 10-15% проліну і 20-50% глютамінової кислоти. Проламіни - цінні продукти харчування. Це *гліадин* пшениці і жита, *гордеїн* ячменя, *аверін* вівса й ін.

**Глутеліни**- також рослинні білки. Розчиняються у розведених розчинах лугів і кислот. Містять у значних кількостях глютамінову кислоту і лізин. Глутеліни є цінними харчовими білками.

**Фібриноген** - фібрилярний білок, розчинний в концентрованих сольових розчинах і нерозчинний у воді. Є складовою частиною плазми крові і виконує захисну функцію (плазмою крові називають її рідку частину, звільнену від завислих у ній тілець; рідину, що відокремлюється при коагуляції, називають сироваткою. Таким чином, у сироватці на відміну від плазми фібриноген відсутній). У результаті складних хімічних реакцій фібриноген перетворюється у фібрин, який утворює широку мережу розгалужених ниток. У цих нитках осідають еритроцити крові, у результаті чого утворюється згусток (тромб), що перешкоджає втраті крові організмом.

**Актин** і **міозин** - водонерозчинні фібрилярні білки, з яких складаються міофібрили - скорочувальні елементи клітин м'язової тканини.

Відома ще одна група білків -*протеїноїди*, або *склеропротеїди*. Ці білки дуже міцні й еластичні, не розчиняються у воді, розчинах кислот, лугів, солей, не розщеплюються ферментами. Входять до складу опірної і покривної тканин (кісток, хрящів, сухожилля, волосся, шкіри) і належать до фібрилярних білків.

В організмі більше всього міститься *колагену*, який є основним білковим компонентом шкіри, сухожилля, хрящів. Дуже цікаві фізичні властивості колагену. За своєю міцністю він може зрівнятися зі сталевим дротом. До складу цього білка входить підвищена кількість гліцину (30% суми амінокислот), а також оксипролін і оксипілін.

Молекула колагену побудована із трьох поліпептидних ланцюгів, зв'язаних між собою водневими зв'язками, утворюючи потрійну спіраль. У процесі тривалого кип'ятіння колаген перетворюється в желатин.

У великих артеріях міститься інший білок - *еластин*, також багатий гліцином і проліном. Особливістю цього білка є здатність до розтягнення.

Основним білковим компонентом волосся, нігтів і шерсті є *кератин*, шовку — *фіброїн*.

**Протеїди.** До групи складних білків, або протеїдів, як відзначалося вище, належать такі, до складу яких, крім білкової частини, входить якась небілкова, так звана *простетична* група, міцно зв'язана з білком. Усі протеїди поділяють на групи залежно від природи їх небілкової частини.

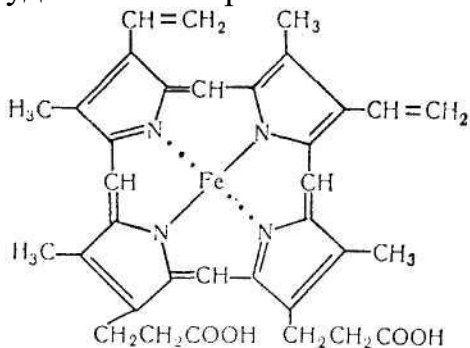
**Хромопротеїди** - складні білки, молекули яких містять простий білок і забарвлену простетичну групу, звідки й одержали свою назву (від грец. *сгіома* - колір). Білкова частина переважно представлена гістонами, а простетична група — різними кольоровими сполуками: вітаміном В<sub>2</sub>, каротином, порфири-ном. Багато хромопротеїдів у складі небілкової групи містять метали, тому їх ще називають **металопротеїдами**.

В організмі людини і вищих тварин одним із найбільш важливих хромопротеїдів є *гемоглобін* - червоний залізовмісний білок, який має властивість переносити гази з током крові. При вивченні четвертинної структури білка як приклад були розглянуті структура і порядок розміщення поліпептидних ланцюгів у молекулі гемоглобіну. Тепер більш докладно зупинимося на будові його небілкової частини, яка носить назву *гем*.

Молекулу гема складають чотири похідних піролу, що сполучені між собою метиновими групами (-СН=), чотири метильних радикали (-СН<sub>3</sub>), два вінільних радикали (-СН=СН<sub>2</sub>), два залишки пропіонової кислоти (-СН<sub>2</sub>СН<sub>2</sub>СООН) і один атом двовалентного заліза.

Біологічна особливість гема полягає в тому, що він здатний з'єднуватися з газами (киснем, оксидом вуглецю СО і ін.). Цю здатність гем проявляє й у складі молекули гемоглобіну - сполуки гему з білком глобіном. У легенях до гемоглобіну приєднується кисень і розноситься по крові до всіх органів і тканин. При цьому окиснення заліза не відбувається, і воно залишається двовалентним. Такий зв'язок між киснем і гемом є неміцним, і в тканинах кисень легко відщеплюється, гемоглобін приєднує вуглекислий газ і транспортує його до легенів. Тут вуглекислий газ відщеплюється і виводиться з організму при видиху. Гемоглобін, що звільнився, знову приєднує кисень, і процес повторюється.

Будова його виражається такою формулою:



Більш міцну сполуку утворює гемоглобін з оксидом вуглецю (II), або чадним газом - СО, у зв'язку з чим втрачає здатність приєднувати кисень. Унаслідок цього кисню до органів і тканин надходить менше, виникає кисневе голодування, що призводить до втрати свідомості, а іноді і до смерті.

**Фосфопротеїди** - складні білки, у молекулах яких білок зв'язаний з фосфатною кислотою. Найбільш вивченим фосфопротеїдом є *казеїн* - білок молока. Це цінна харчова речовина для людини і тварин. Казеїн - джерело фосфору для утворення



макроергичних сполук, фосфатидів, багатьох білків, для побудови кісток. До фосфопротеїдів належить *пепсин* - основний фермент шлункового соку, який розщеплює білки до пептидів, *овальбумін* - білок курячого яйця і білки жовтка *вітелін*, *вітеленін*, *фосфовітин*.

**Ліпопротеїди** - складні білки, у молекулах яких білок зв'язаний з ліпідами. Вони є основою біологічних мембран, мієлінових оболонки нервових волокон. У вільному вигляді містяться в лімфі, крові, молоці, яєчному жовтку. Біологічна роль ліпопротеїдів полягає в тому, що вони забезпечують транспортування жирів у тканинах і клітинах. У формі ліпопротеїдних комплексів транспортуються до клітин вітаміни А, D, Е, К і F.

**Глікопротеїди** - складні білки, до складу яких входять вуглеводи і їх похідні (маноза, галактоза, глюкуронова, гіалууронова і хондроїтинсульфатна кислоти, гепарин). Вони відіграють дуже важливу роль у багатьох фізіологічних процесах організму людини і тварин. Так, *гепарин* є антикоагулянтном крові. Глікопротеїди, що містять хондроїтинсульфатну і гіалууронову кислоти, входять до складу хрящової і сполучної тканин, зв'язок і сухожилля. Ці глікопротеїди називають ще мукопротеїдами, або *мукоїдами*.

До групи глікопротеїдів належать також *муцини* - слизуваті виділення травного каналу (слина, шлункові і кишкові слизи). Вони виконують захисну функцію, захищаючи стінки органів травного каналу від механічних і хімічних ушкоджень. У слині собаки міститься спеціальний муцин — *лізоцим*, що є сильним бактеріостатичним чинником. Отже, зализуючи рани, собаки захищають їх від бактеріального зараження.

**Нуклеопротеїди**- одна з найважливіших груп білків. Вони являють собою сполуки білків з нуклеїновими кислотами. Білкова частина нуклеопротеїдів переважно представлена протамінами і гістонами.

#### ПИТАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ:

1. Що називають амінокислотами?
2. Що називають пептидами?
3. Що називають білками?
4. Що називають  $\alpha$  – амінокислотами?
5. Назвіть функції білків.
6. Класифікуйте білки.
7. Назвіть приклади білків, що виконують різні функції.
8. Запишіть схему утворення пептидного зв'язку.

### Тема 3. Ферменти. Ферментативна (каталітична) функція білків

#### ПЛАН:

1. Біологічний каталіз. Методи біологічної хімії, які використовуються для виділення і очищення ферментів.
2. Властивості ферментів.
3. Принципи і сучасний стан класифікації ферментів. Сучасний стан класифікації ферментів.
4. Локалізація ферментів в клітині.
5. Промислове виготовлення і практичне використання ферментів.

#### Вимоги до знань та вмінь студентів

По завершенні вивчення теми студенти повинні знати:

- поняття про біологічний каталіз;
- роль ферментів у процесах життєдіяльності;
- будову ферментів;
- механізм дії ферментів
- основні властивості ферментів
- принципи та сучасний стан класифікації ферментів;
- основні класи ферментів;
- локалізацію ферментів у клітині живого організму;
- методи промислового виготовлення ферментів і галузі їх практичного застосування і повинні вміти:

- записувати будову ферментів;
- пояснювати механізм біологічного каталізу та специфічність ферментів
- пояснювати властивості ферментів з огляду на їх білкову природу;
- володіти основними методиками вивчення ферментів у процесі біохімічного дослідження організмів (якісне визначення ферментів та їх дії).
- називати найважливіші з вивчених ферментів, вказувати їх клас;
- володіти основними методиками вивчення ферментів у процесі біохімічного дослідження організмів (кількісне визначення активності ферментів

1. Уявлення про те, що обмін речовин у всіх живих організмів здійснюється за допомогою ферментів, або ензимів - специфічних органічних каталізаторів, що синтезуються живими клітинами, - формувалось поступово, починаючи з 1815 р., коли Кірхгоф отримав з пшениці екстракт, здатний перетворювати крохмаль на цукор.

Довготривала суперечка між Лібіхом і Пастером про те, чи можна вважати живими самі ферменти, знайшла розв'язку на користь Лібіха в 1897 р., коли Едуард Бухнер приготував з дріжджів безклітинний екстракт, що перетворював цукор на спирт. В результаті інтенсивних ензимологічних досліджень вдалося виділити велику кількість ферментів, довести, що всі вони являють собою макромолекули білкової природи і що кожен фермент регулює певну хімічну реакцію завдяки специфічній конфігурації своєї молекули. Речовина, з якою відбувається хімічна реакція (субстрат), з'єднується з ферментом, утворюючи з ним специфічний комплекс (далі: ФСК – ферментно-субстрактний комплекс). Таким чином, ферменти регулюють швидкість і специфічність практично всіх хімічних реакцій, що протікають в живих організмах.

Робота ферментів відбувається впорядковано, серіями етапів, що називаються метаболічними шляхами. Тому хімічні процеси в живих організмах проходять з дивовижною ефективністю. По-перше, непотрібних продуктів реакцій накопичується дуже мало, оскільки кожен продукт однієї реакції виступає в ролі субстрату для наступної і т.д. Друга перевага послідовного ходу реакцій стає зрозумілою, якщо врахувати, що хімічні реакції можуть протікати в будь-якому напрямку, тобто вони є оберненими. Якщо кожен продукт окремої реакції в процесі утворення одразу вступає в іншу реакцію, то тенденція до оберненості зводиться до мінімуму. Більше того: якщо можливий кінцевий метаболіт також буде використовуватись швидко, то ціла серія реакцій буде рухатись до завершення. Інша перевага полягає в тому, що групи ферментів, що беруть участь в загальних метаболічних шляхах, можуть об'єднуватись. Деякі було виявлено в невеличких везикулах (мембранних пухирцях) в цитоплазмі. Інші зв'язані з мембранами спеціалізованих органел, таких, як мітохондрії або хлоропласти.

Одним з важливих напрямків біотехнології мікроорганізмів є використання продуктів їх життєдіяльності. Продукти життєдіяльності за природою і за призначенням можна розділити на три групи. До першої групи належать різні ферменти (целюлози, протеази, ліпази) і полісахариди. Сфера використання тих чи інших речовин надзвичайно широка — від харчової і текстильної промисловості до нафтодобувної. Другу групу утворюють первинні метаболіти, тобто речовини, які необхідні для росту і розвитку самої клітини: амінокислоти, пуринові і піримідинові нуклеотиди, вітаміни. До третьої групи належать вторинні метаболіти — речовини, які не потрібні для росту мікроорганізмів. Їх синтез спостерігається після вичерпання мікробними клітинами джерела вуглецю і енергії. У цю групу входять антибіотики, токсини, алкалоїди, фактори росту [Герасименко, 1989]. Мікроорганізми вирощують з використанням двох методів — періодичне і неперервне культивування. При періодичному методі культуру засівають у живильне середовище і культивують за умов відповідної температури, аерації, перемішування. Культура росте спочатку повільно, поступово її ріст прискорюється і досягає максимуму (логарифмічна фаза росту). Концентрація вуглецю і енергії поступово знижується, починають накопичуватися продукти обміну. Відтак настає період, коли приріст клітин припиняється, а згодом клітини відмирають. Від'ємно-доливний спосіб полягає в тому, що з посудини, в якій культивуються мікроорганізми вилучають частину клітин та продукти обміну і вносять відповідний об'єм живильного середовища. Якщо процедуру виконувати часто з певною періодичністю, то можна перейти до неперервного способу культивування мікроорганізмів [Герасименко, 1989]. Мікроорганізми використовують як біогенні агенти для трансформації деяких речовин, очистки вод, ґрунтів, повітря. Для добування металів із простих і складних руд (біотехнологія металів) використовують тіонові бактерії. Важлива роль мікроорганізмів у створенні, підтримці і збереженні ґрунтового плодonoшення. Мікроорганізми беруть участь в утворенні гумусу, трансформують отруйні речовини в неотруйні або детоксикують їх. У біотехнології мікроорганізмів завдяки широкому спектру досліджень виділяють ґрунтову біотехнологію, одним із напрямків якої є використання мікроорганізмів для інокуляції (обробки насіння) рослин з метою створення симбіозу між азотофіксуючим мікроорганізмом і

рослиною. Завдяки цьому можна зменшити внесення мінеральних азотних добрив або не вносити їх взагалі. Ще одним напрямком є використання мікроорганізмів для боротьби з хворобами рослин: рослини обробляють певними бактеріями, які зменшують розмноження патогенних форм мікроорганізмів [Смирнов, Иванов, 1986].

2. Ферменти – *термолабільні* сполуки. Це означає, що під дією високих температур вони денатурують. Спочатку при підвищенні температури активність їх різко знижується, потім зовсім припиняється. При 80° С ферменти руйнуються. Виняток становлять лише окремі ферменти, що витримують температуру 100° С і при цьому не руйнуються. За низьких температур (нижче 0° С) ферменти припиняють свою дію, але не руйнуються. Для більшості ферментів людини і ссавців оптимальною температурою дії є 37 - 40° С.

Таким чином, чутливість до температури – характерна властивість ферментів, що пояснюється їх білковою природою.

Кожний фермент проявляє свою максимальну дію при відповідній концентрації водневих йонів, тобто при певному значенні рН, яке одержало назву *pH-оптимуму*. Для більшості ферментів людини і ссавців оптимальне значення рН знаходиться в слабнокислому або слаболужному середовищі. Проте відомі ферменти, що проявляють максимальну активність при рН = 1,5 - 2,5 (наприклад, пепсин шлункового соку) і при рН = 8,00 (наприклад, хімотрипсин дванадцятипалої кишки).

Зміна каталітичної активності ферменту за різних значень рН пояснюється в першу чергу зміною тієї просторової конфігурації, за якої проявляються його каталітичні властивості.

Однією з найважливіших особливостей, що відрізняє ферменти від інших каталізаторів, є висока *специфічність* їх дії. Вона полягає в тому, що кожний фермент діє на певну речовину (субстрат) або на декілька близьких за своєю хімічною структурою речовин. Залежно від того, може фермент каталізувати одну реакцію (діяти тільки на одну речовину) чи декілька (діяти на групу близьких за будовою речовин), розрізняють *абсолютну і відносну специфічність*. Прикладом абсолютно специфічного ферменту може бути фермент уреаза, який розщеплює сечовину на вуглекислий газ і аміак. Навіть на таку близьку до сечовини речовину, як тіосечовина, уреаза вже не діє. Більшість ферментів має відносну специфічність. До таких ферментів належать естерази, які розщеплюють ефірні зв'язки, протеолітичні ферменти травного каналу, що розщеплюють пептидні зв'язки в білкових молекулах, ліпази та ін.

Серед ферментів є також і такі, що проявляють свою дію залежно від просторової конфігурації, тобто мають *просторову специфічність*. Так, ферменти, які окиснюють D-амінокислоти, не окиснюють їх L-форми. Слід підкреслити, що специфічність будь-якого ферменту завжди проявляється в чітко визначених умовах, зокрема, при певній концентрації йонів водню.

Ферменти прискорюють перебіг хімічних реакцій як у бік розщеплення якоїсь речовини, так і в бік її синтезу, тобто діють в обох напрямках.

Крім температури і значення рН, на активність ферментів впливає ще цілий ряд чинників, серед яких велике значення має концентрація субстрату. За малих концентрацій субстрату реакція відбувається з малою швидкістю, з підвищенням

концентрації швидкість реакції поступово зростає і за певних значень стає постійною. Відбувається процес так званого насичення ферменту субстратом. Подальше збільшення концентрації субстрату призводить до уповільнення реакції. Велике значення для швидкості реакції має і концентрація самого ферменту. За оптимальної концентрації речовини швидкість реакції прямо пропорційна концентрації ферменту в розчині.

На активність ферментів впливають хімічні сполуки, що знаходяться в реакційній системі. Одні з них підвищують активність ферментів і називаються *активаторами*. Ними можуть бути катіони металів і аніони кислот:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$  і ін. Активаторами ферментів можуть бути також органічні речовини. Наприклад, ліпаза підшлункової залози, яка розщеплює жири, активується жовчними кислотами. Відомі випадки, коли активність ферментів підвищується при додаванні до розчину невеликих кількостей білків, які самі по собі не мають властивостей ферментів.

Речовини, що знижують активність ферментів, називаються *інгібіторами*. Ними є, наприклад, катіони важких металів.

3. Відповідно до нової номенклатури назви ферментів складаються з двох частин. Перша частина вказує на назву субстрату, друга - на природу хімічної реакції, яку здійснює фермент, із додаванням суфіксу *-аза*. Якщо фермент каталізує реакцію між двома субстратами, то в першій частині назви ферменту дають назви обох субстратів, розділених двома крапками, в другій - указують тип хімічної реакції з додаванням суфіксу *-аза*.

Таким чином, згідно з прийнятою класифікацією і номенклатурою ферментів, у назві ферменту відображується тип хімічної реакції, яку вони каталізують, а сам фермент має свій шифр, який ставиться після назви ферменту в дужках.

Розглянемо на прикладах назви і шифри деяких ферментів.

**1. Оксидоредуктази** - ферменти, що каталізують окисно-відновні реакції, тобто перенесення електронів і атомів водню від однієї речовини (донатора) до іншої (акцептора). У результаті реакцій, що каталізуються оксидоредуктазами, клітини одержують хімічну енергію.

Оксидоредуктази - це складні ферменти. Кофакторами в їх складі можуть бути нікотинамідні коферменти (**НАД** і **НАДФ**), флавіннуклеотиди (**ФМН** і **ФАД**), залізопорфіринові комплекси (гем) і багато катіонів ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  і ін.). Зазначені кофактори спроможні виконувати роль акцепторів електронів і атомів водню і передавати їх іншим речовинам.

Назва ферментів будується за такою загальною схемою: донатор (або субстрат): акцептор - оксидоредуктаза.

Поряд з цим застосовується також робоча номенклатура оксидоредуктаз, в основі якої лежить назва акцептора електронів і водню. Так, якщо акцептором є кисень або пероксид водню, такі оксидоредуктази називають відповідно *оксидазами* і *пероксидазами*. Оксидоредуктази, що передають електрони і водень на якийсь інший акцептор, крім кисню і пероксиду водню, називають *дегідрогеназами*. Таких оксидоредуктаз переважна більшість.

Клас оксидоредуктаз містить цілий ряд підкласів і підпідкласів (у шифрі ферментів це відповідно друга і третя цифри). У підкласі оксидоредуктаз відображені групи речовин, що окиснюються (тобто донатори електронів і атомів

водню), кожна з яких має свій певний порядковий номер. Наприклад, цифрою 1 завжди позначається спиртова ОН-група, цифрою 2 - альдегідна або кетонна група. Підпідклас в аналізованому класі вказує на акцептори електронів і атомів водню (це не що інше, як кофактори оксидоредуктаз), які так само, як і донатори (групи, що окиснюються), мають свої певні номери. Цифра 1 у підпідкласі, наприклад, означає, що акцептором електронів і водню є *нікотинамідні коферменти* (НАД і НАДФ).

Скажімо, фермент спиртового бродіння алкогольдегідрогеназа відповідно до номенклатури має таку назву: алкоголь: НАД -оксидоредуктаза (КФ 1.1.1.1). Перша цифра шифру показує належність ферменту до класу оксидоредуктаз; друга - до підкласу оксидоредуктаз, що окиснюють спиртові групи; третя - до підпідкласу оксидоредуктаз, кофактором яких є НАД; четверта - порядковий номер ферменту в підкласі. Перелік підкласів, під-підкласів і порядкових номерів для будь-якого класу поданий у спеціальному довіднику за номенклатурою ферментів.

**2. Трансферази** – клас ферментів, що каталізують транспорт різноманітних хімічних груп від однієї речовини (донатора) до іншого (акцептора). Назва ферменту будується за схемою: донатор: акцептор - група-трансфераза. Наприклад, систематична назва ферменту гексокинази записується так: АТФ: D-гек-созо-6-фосфотрансфераза (КФ 2.7.1.1). Це означає, що фермент належить до другого класу (трансфераз), сьомого підкласу (переносить фосфатні групи), до першого підпідкласу (акцептором є речовини зі спиртовою групою, у даному випадку гексоза), порядковий номер ферменту в підпідкласі - перший.

*Клас трансфераз бере участь в обміні білків, ліпідів, вуглеводів, нуклеїнових кислот і налічує близько 800 ферментів.*

**3. Гідролази** – ферменти, що каталізують реакції розщеплення речовин за участю води. Каталітична активність цих ферментів залежить від наявності в їх каталітичному центрі HS-груп. Відповідно до систематичної номенклатури назви гідролаз складаються за схемою: субстрат - гідролаза. Наприклад, фермент АТФ-аза називається АТФ-фосфогідролазою (КФ 3.6.1.3). Він належить до третього класу (гідролази), шостого підкласу (розщеплює кислородні зв'язки), першого підпідкласу (ці зв'язки знаходяться в молекулі АТФ), порядковий номер даного ферменту в підпідкласі - третій.

Гідролази дуже поширені в природі і беруть участь в обміні вуглеводів, жирів, білків та інших сполук.

**4. Ліази** – ферменти, що каталізують реакції негідролітичного відщеплення певних груп з утворенням подвійних зв'язків або приєднання групи в місці подвійного зв'язку. Ці реакції здійснюються без використання енергії макроергичних сполук. Систематичні назви ферментів цього класу будуються так само, як і назви гідролаз, тобто за схемою: субстрат - відщеплювана група-ліаза. Наприклад, аспартат-аміак-ліаза за систематичною номенклатурою називається L-аспартат-аміак-ліаза (КФ 4.3 1.1). Це означає, що фермент належить до четвертого класу (ліаз), третього підкласу (каталізує розрив зв'язку між атомами Карбону й Нітрогену), до першого підпідкласу (відщеплює аміногрупу), а порядковий номер його в підпідкласі - перший.

Ліази, як правило, – складні ферменти, що містять як кофактори фосфорні естери водорозчинних вітамінів.

**5. Ізомерази** - ферменти, що каталізують реакції внутрішньомолекулярного переміщення різних груп або реакції утворення ізомерів. Типовим прикладом ферментів цього класу є тріозофосфатізомераза, систематична назва якої D-гліцеральдегід-3-фосфат-кетолізомераза (КФ 5.3.1.1). Даний фермент оборотно перетворює 3-фосфогліцеринний альдегід у діоксіацетонфосфат.

**6. Лігази (синтетази)** - ферменти, за участю яких здійснюється приєднання одна до одної двох молекул із використанням енергії АТФ і утворенням нових зв'язків. Лігази називають ще синтетазами, оскільки вони є каталізаторами синтетичних реакцій. Це складні ферменти. Кофактором багатьох із них є вітамін Н, або біотин. Найбільш вивченими ферментами цього класу є карбоксилази, наприклад, ацетил-КоА - карбоксилаза, систематична назва - ацетил-КоА: CO<sub>2</sub>-лігаза (АДФ) (КФ 6.4.1.2). Фермент каталізує утворення так званого малоніл-КоА - проміжної сполуки в біосинтезі вищих жирних кислот з ацетил-КоА і вугільної кислоти.

4. Переважна більшість ферментів діє всередині клітини, де вони утворилися, тобто являє собою так звані *ендоферменти*. При цьому для них характерна певна клітинна локалізація.

Загалом локалізацію найважливіших груп ферментів усередині клітини можна уявити таким чином. У розчинній частині клітини у вигляді окремих молекул знаходяться численні важливі групи ферментів: ферменти, що каталізують процеси анаеробного дихання або спиртового бродіння, перетворення сахарів, розщеплення крохмалю -  $\alpha$ - і  $\beta$ -амілази. У цій же частині локалізовані всі ферменти синтезу вищих жирних кислот, багато ферментів, що каталізують синтез і взаємні перетворення амінокислот, а також численні гідролітичні ферменти.

Ряд ферментів локалізовано в органелах клітини – ядрі, мітохондріях, рибосомах і т.д. В ядрі в основному знаходяться ферменти, що каталізують утворення нуклеїнових кислот. Усі ферменти і кофактори дихального ланцюга, а також усі ферменти окиснювального фосфорилування, які мають відношення до утворення АТФ у клітині, локалізовані в мітохондріях. Тут же міститься повний набір ферментів, що каталізують реакції циклу трикарбонових кислот, а також ферменти, що каталізують окиснення жирних кислот. Крім того, у мітохондріях локалізовано багато амінотрансфераз, що каталізують реакції переамінування, і такий ключовий фермент азотистого обміну як глутаматдегідрогеназа.

Ферменти біосинтезу білків зосереджені переважно в рибосомах. У них містяться також ферменти, що каталізують біосинтез рибонуклеїнових кислот.

5. Ферменти широко використовуються в народному господарстві. Так, у процесі випікання хліба застосовують ферментні препарати, що покращують якість і аромат хліба. Для збереження м'яса, фруктових соків, непастеризованих пива і вина як антиокиснювач використовується глюкозооксидаза. У шкіряному і хутряному виробництві застосовуються препарати пептидогідролаз, які в кілька разів прискорюють розм'якшення шкір і видалення з них шерсті.

Багато ферментів застосовуються в терапії. Так, препарат трипсину разом з антибіотиками використовується при лікуванні хронічних виразок кінцівок і

фурункулів. Панкреатична ДНК-аза застосовується при лікуванні деяких респіраторних захворювань, гіалуронідаза – для прискорення всмоктування різних ліків, які вводяться підшкірно. Для руйнування тромбів часто застосовують фібринолізин. Аспарагіназа, яка розщеплює аспарагін, необхідна для синтезу білків раковими клітинами, застосовується при лікуванні злоякісних пухлин.

На думку вчених, еру антибіотиків і гормональних препаратів заступає ера ферментів. Проте широке використання ферментів обмежене їх малою стабільністю при зберіганні, швидкою інактивацією під впливом внутрішніх середовищ організму, сильними імунологічними реакціями, високою вартістю і нездатністю до регенерації. Тому вже на даний час значна кількість ферментів застосовується не у вільному стані, а будучи закріпленими на органічних і неорганічних носіях. Такого роду системи називають *імобілізованими ферментами*. Імобілізація ферментів, як правило, підвищує їх стабільність при зберіганні, стійкість до температурних змін агентів, які денатурують, дії мікроорганізмів. Часто у ферментів, які зазнали імобілізації, змінюється специфічність до субстрату. При розщепленні субстратів імобілізовані ферменти можуть давати інші продукти, ніж ті самі ферменти, вміщені в розчин. У ряді випадків з'являється особлива субстратна специфічність. Таким чином, завдяки імобілізації ферментів, тобто зв'язуванню їх із неорганічними або органічними носіями, значною мірою усуваються вади, які обмежують їх застосування.

Імобілізовані ферменти широко використовуються для діагностики і лікування різних захворювань, а також для створення більш досконалих протезів і апаратів, які замінюють роботу найважливіших органів людини. Методи імобілізації ферментів відкривають принципово нові підходи в конструюванні апаратів "штучна нирка" і "штучна печінка". Так, на основі імобілізованої уреазі створені і пройшли успішні випробування портативні апарати "штучна нирка".

Практична медицина застосовує різноманітні типи пов'язок і тампонів з імобілізованими на їх поверхні ферментами. Із застосуванням імобілізованих ферментів розроблені більш точні й економічні методи масових клінічних аналізів для визначення глюкози, молочної кислоти й інсуліну в крові, сечовини в сироватці крові, лактози в сечі, пеніциліну у фармацевтичних препаратах.

Прикладом імобілізованих ферментів може бути уреазу, яку використовують для визначення сечовини в біологічних рідинах. Імобілізована уреазу може "працювати" безупинно протягом чотирьох місяців, а зберігатися без втрати активності упродовж трьох місяців при температурі від 0 до 5° С. Імобілізована на нейлоні уратоксидаза дозволяє визначати сечову кислоту з точністю до  $10^{-5}$  –  $10^{-4}$  моль. Система імобілізованих ферментів для визначення піровиноградної і щавлево-оцтової кислот має велику стабільність для проведення 800-1000 аналізів, тоді як ферменти в розчині за той же період часу втрачають активність на 90%.

Імобілізовані ферменти поступово впроваджуються також у практику для оцінки забруднення навколишнього середовища токсичними речовинами.

Біотехнологія (від лат. *bios* – життя, *technos* – архітектура, мистецтво *logos* – наука) — нова галузь науки і виробництва, що ґрунтується на використанні біологічних процесів і об'єктів для виробництва економічно важливих речовин і створення високопродуктивних сортів рослин, порід тварин і штамів



мікроорганізмів У буквальному розумінні слова біотехнологія — це “біологія + технологія”, тобто використання фундаментальних біологічних знань у практичній діяльності, спрямованій на виробництво лікарських препаратів, ферментів, білків, барвників, вітамінів та інших біологічно активних сполук, генетичному конструюванні організмів тощо [Сассон, 1987]. Сучасна біотехнологія ґрунтується на основних досягненнях біохімії, мікробіології, генетики, молекулярної біології, клітинної біології, екології та інших біологічних і технічних наук. Основними напрямками біотехнології є: промислова мікробіологія, біотехнологія виробництва ферментів та фармацевтичних препаратів, біотехнологія переробки відходів та вторинних продуктів, біотехнологія збагачення руд, біотехнологія виробництва етанолу (метанолу) та біогазу, технологія рекомбінантних ДНК, одержання гібридів та клональна біотехнологія.

Історично біотехнологія виникла на основі традиційних мікробіологічних виробництв, оскільки більшість подібних “технологій” необдуманно застосовувалися ще у давнину при отриманні вина, пива, хліба тощо. Дальший розвиток цих традиційних біовиробництв був пов’язаний з досягненнями у біохімії та інших науках біологічного циклу. Так, завдяки стрімкому прогресу вірусології (у дослідженнях бактеріофагів), бактеріології (поглибленому вивченню фізіології, генетики і молекулярної біології кишкової палички, а також вивченню плазмід), молекулярної генетики (встановлення генетичного коду) і ензимології (відкриття ферментів рестрикції) були накопичені знання і розроблені методи генної інженерії [Герасименко, 1989]. У 1953 році Сенгер встановив повну структуру білка інсуліну, а Уотсон і Крік довели подвійну структуру молекули ДНК. У 1963 році Ніренберг розшифрував генетичний код та довів його універсальність як для бактерій, так і для вищих організмів та людини. У 60-их роках внаслідок удосконалення аналітичних методів, запропонованих Сенгером, та встановлення у 1967 році Едманом і Беггом закономірностей процесу деградації білків з’явилася можливість автоматично визначати структуру білків. У 1978 році було встановлено послідовності більше, ніж для 500 білків. Був складений електронний атлас білків [Rosnay, 1981 — Сассон, 1987]. Процес аналітичного визначення структури продовжує удосконалюватися. У 1963 році на основі досліджень Меріфілда були створені перші прилади, завдяки яким став можливим автоматизований синтез поліпептидів на основі структури ДНК. У 1980 році Ітакура створив перший синтезатор генів на основі відомої структури білків [Сассон, 1987]. Таким чином, розвиток біологічних знань є результатом технічного прогресу, тоді як біологічна наука, збагачена досягненнями ензимології та генетики, може створити систему взаємозв’язаних галузей біотехнології. Перевагою цих галузей буде те, що в їх основі буде лежати функціонування природних систем, метаболічні механізми яких будуть підпорядковані інтересам людства.

#### **БІОТЕХНОЛОГІЯ МІКРООРГАНІЗМІВ**

Основою біотехнології як науки у процесі її формування стала мікробіологічна промисловість. Мікроорганізми, порівняно з іншими об’єктами, мають такі переваги: висока швидкість росту; використання для життєдіяльності дешевих субстратів; стійкість до зараження чужою мікрофлорою. Саме завдяки таким

ознакам мікроорганізмів за останні роки мікробіологічна промисловість набула принципово нових рис: мікроорганізми стали використовувати не тільки як засіб підвищення інтенсивності біохімічних процесів, але і як мініатюрні синтетичні фабрики, що здатні виробляти, синтезувати цінні й складні хімічні сполуки. Ключовим моментом у розвитку біотехнології мікроорганізмів було відкриття і початок виробництва антибіотиків [Герасименко, 1989]. На сьогоднішній день завдяки біотехнології мікроорганізмів отримані такі сполуки: алкалоїди, амінокислоти, антибіотики, антиметаболіти, антиоксиданти, білки, вітаміни, гербіциди, інгібітори ферментів, інсектициди, іонофори, коферменти, ліпіди, нуклеїнові кислоти, нуклеозиди і нуклеотиди, окисники, органічні кислоти, пігменти, поверхнево активні речовини, полісахариди, антипухлинні агенти, розчинники, фітогормони, ферменти тощо [Сассон, 1997]. Значний вклад у розвиток біотехнології як науки в цілому і біотехнології мікроорганізмів зокрема внесли дослідження петербурзького академіка К. С. Кірхгофа, який у 1814 р. відкрив явище біологічного каталізу і намагався біокаталітичним шляхом отримати цукор із доступної сировини [Мишунин, Шевченко, 1989]. У 1891 р. у США японський біохімік Дз. Такаміне отримав перший патент на використання ферментних препаратів у промислових цілях. У 1916–1917 рр. російський біохімік О. М. Колєнєв намагався розробити спосіб, який дозволив би керувати процесом ферментації природної сировини при виробництві тютюну [Мишунин, Шевченко, 1989]. Академік О. Н. Бах та його учні розробили рекомендації щодо удосконалення технології хлібопечення, пивоваріння, виноробства, виробництва чаю та тютюну тощо, а також рекомендації для підвищення врожаю культурних рослин шляхом управління біохімічними процесами, що в них протікають. У першій половині ХХ ст. технологічне забезпечення мікробіологічних процесів було вдосконалено. Почали впроваджувати спеціально підібрані чисті культури мікроорганізмів, які спрямовували процес у потрібному напрямку. У 1933 р. голландські вчені А. Ключвер і Л. Х. Ц.Перкін запропонували основні технічні прийоми і підходи до оцінки отриманих результатів при глибинному культивуванні грибів. Також здійснювалась розробка і впровадження технології неперервного культивування. Одними з перших вивченням безперервних процесів займалися російські вчені С. В. Лебедев, М. Д. Утенков, Д. Н. Клімовський [Попова, Попова, 2000]. Однак, незважаючи на суттєві досягнення, природні мікроорганізми, як правило, володіють низькою продуктивністю тих речовин, виробництво яких необхідне. Для біотехнології важливим є використання високопродуктивних штамів мікроорганізмів. Їх створюють направленим відбором спонтанних або індукованих мутагенів. Отримання таких штамів займає іноді багато років. У результаті селекції продуктивність продуцентів може зростати у сотні-тисяч разів. Наприклад, у роботі з *Penicillium* методами селекції вихід пеніциліну був збільшений приблизно у 10 тис. разів, порівняно з вихідним штамом. Відбору високопродуктивних штамів передують тонкі маніпуляції селекціонера з вихідним генетичним матеріалом. При цьому використовують весь спектр природних способів рекомбінації генів, відомих у бактерій, а саме: кон'югацію, трандукцію та інші генетичні процеси. Наприклад, кон'югація (обмін генетичним матеріалом між бактеріями) була успішно використана при створенні штаму *Pseudomonas putida*, що здатний утилізувати парафіни нафти [Герасименко,

1989]. Дуже часто використовують трансдукцію (перенесення гена від однієї бактерії до іншої за допомогою бактеріофагів), та ампліфікації, тобто збільшення числа копій потрібного гена. У багатьох мікроорганізмів гени біосинтезу антибіотиків та їх регулятори знаходяться не в основній хромосомі, а в плазмідах. Завдяки ампліфікації можна збільшити кількість плазмід у клітинах та суттєво збільшити виробництво антибіотиків [Герасименко, 1989]. Наступним підходом в генетико-селекційній роботі є отримання генетичних рекомбінант шляхом злиття різних штамів бактерій, позбавлених клітинних стінок. Так, завдяки злиттю клітин 2-х штамів *Streptomyces* був сконструйований новий високоефективний штам-продуцент рифампіцину С. На мікробіологічній основі намагаються виробляти паливо: метан і спирт. Спирт, отриманий мікробіологічним шляхом, конкурує з бензином за своїми властивостями, а також за важливими з точки зору охорони природи показниками: продукти згоряння спирту не забруднюють навколишнє природне середовище. Мікроорганізми використовують для виробництва білків одноклітинних організмів, які є кормом для тварин. Перспективність мікробіологічного виробництва полягає в тому, що по-перше, немає необхідності у великих площах – один апарат для отримання кормових дріжджів з парафінів нафти дає стільки ж білка, скільки міститься в урожаї гороху з 18 тис. га. Таке виробництво не залежить від кліматичних умов, його обслуговує невелика кількість робочої сили [Смирнов, Иванов, 1986]. При вирощуванні мікроорганізмів (переважно дріжджів) для цих цілей як живильний субстрат для їх росту використовують відходи інших галузей промисловості. Мікробна біомаса деяких культур використовується у вигляді заквасок, наприклад, для випікання хліба, виробництва пива, вин, спирту, оцту, кисломолочних продуктів, сирів. Мікробний білок (зруйновані клітини дріжджів чи бактерій) використовується як добавки в живильне середовище при вирощуванні мікроорганізмів для наукових і практичних цілей.

#### ПИТАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ:

1. Охарактеризуйте біологічний каталіз. Мікроорганізмів
2. Які методи біологічної хімії, які використовуються для виділення і очищення ферментів, вам відомі? Охарактеризуйте їх.
3. Охарактеризуйте властивості ферментів.
4. Розкрийте принципи і сучасний стан класифікації ферментів.
5. Розкажіть про локалізацію ферментів в клітині.
6. Що вам відомо про промислове виготовлення і практичне використання ферментів?

## Тема 4. Вітаміни

### ПЛАН:

1. Роль вітамінів у харчуванні людини і тварин.
2. Співвідношення вітамінів і ферментів

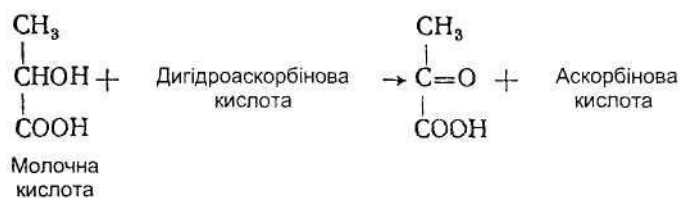
### Вимоги до знань та вмінь студентів

По завершенні вивчення теми студенти повинні знати:

- роль вітамінів у організмі людини і тварин;
- класифікацію вітамінів;
- формули основних водо- та жиророзчинних вітамінів, їх роль в процесах життєдіяльності;
- добову потребу організму в основних вітамінах, хвороби, викликані недостатнім чи надмірним вживанням вітамінів або їх повною відсутністю в їжі;
- інші біоактивні сполуки;
- співвідношення вітамінів та ферментів;
- вміст вітамінів у основних продуктах харчування і повинні вміти:
- писати формули основних вітамінів;
- пояснювати потребу організму людини і тварин у вітамінах.

1. В організмі людини відбувається безупинна витрата вітамінів, що вимагає постійного надходження їх із їжею. У спортсменів різко зростає потреба в окремих вітамінах, що пов'язано з виконанням різного роду фізичних вправ. Так, потреба у вітаміні А (1-2 мг на добу) збільшується в спортсменів, які виконують вправи, пов'язані з великим напруженням зору. Такими видами спорту є стрільба, фехтування, мотобол, ходьба на лижах у горах і т. д.

Під впливом м'язової діяльності збільшується добова потреба у вітаміні С - від 50-75 до 100-150 мг. У присутності вітаміну підвищується споживання кисню клітинами. Виявлено, наприклад, що молочна кислота - продукт гліколізу - окиснюється з участю ферменту дегідрогенази, у складі якої міститься аскорбінова кислота:



Приєднуючи і віддаючи водень, аскорбінова кислота бере участь в окисно-відновних процесах.

Під впливом занять спортом зростає добова потреба у вітаміні В<sub>1</sub> - від 2-3 до 5-10 мг, що також пов'язано з інтенсивною м'язовою діяльністю, коли значно посилюється окиснення вуглеводів. При нестачі вітаміну В<sub>1</sub> уповільнюється декарбоксілювання піровиноградної кислоти, що призводить до порушення вуглеводного обміну.

При активній м'язовій роботі збільшується також потреба у вітаміні В<sub>6</sub>, за участю якого відбуваються реакції перефосфорилування, пов'язані з ресинтезом АТФ.

Таким чином, організм спортсмена потребує вітамінів у більшій кількості, ніж організм людини, яка не займається спортом. Пояснюється це тим, що під час інтенсивної фізичної роботи вітаміни в більшій кількості використовуються у процесах обміну речовин. Але надлишок окремих вітамінів не підвищує фізичної працездатності людини, а значно збільшені концентрації можуть погіршити стан здоров'я. Норми вживання вітамінів також збільшуються у разі застосування антибіотиків, які погіршують надходження їх в тканини, тому що пошкоджують корисну мікрофлору кишківника. А вона сприяє засвоєнню та синтезу окремих вітамінів.

Регуляторна дія вітамінів на обмін речовин пов'язана з ферментами. Вітаміни входять до складу небілкової частини ферменту (коферменту). Коферменти надають ферментам каталітичної активності.

Вітаміни надходять в організм людини переважно з продуктами рослинного походження, де відбувається їх синтез. У продуктах тваринного походження вони містяться в печінці, вершковому маслі, м'ясі, жовтках яєць.

Таблиця 2. Біологічна дія, прояви авітамінозу і добова потреба дорослої людини у вітамінах

Позначення вітаміну	Хімічна назва	Добова потреба, мг	Біологічна дія вітаміну	Ознаки авітамінозу
<b>Жиророзчинні вітаміни</b>				
А	Ретинол	1 – 1,5	Регулює процеси зору і росту, підсилює біосинтез білків, захищає від бактерій та токсичних пероксидних сполук (антиоксидантна дія)	Втрата зору (ксерофтальмія)
Д	Кальциферол	0,025	Регулює обмін Са та Р, їх надходження до кісток, що надає їм міцності, бере участь у збудженні і скороченні м'язів	Розривлення кісток, переломи, слабкий розвиток дитини (рахіт), остеомалія у дорослих
Е	Токоферол	20	Антиоксидант, регулює процеси розмноження, біосинтезу білка (анаболічна дія), аеробного енергоутворення	Дистрофія м'язів, безпліддя
К	Філохінон	3	Сприяє зсіданню крові, механізму аеробного утворення білків у кістках	Надмірні кровотечі
<b>Водорозчинні вітаміни</b>				
В <sub>1</sub>	Тіамін	1,5 – 2,5	Впливає на окиснення вуглеводів, амінокислот, на функцію нервової системи	Поліневрит, м'язова слабкість (бері-бері)
В <sub>2</sub>	Рибофлавін	2 – 3	Входить до складу ФАД, який бере участь в аеробному енергоутворенні	Анемія, тріщини на губах, сухість шкіри
В <sub>3</sub>	Пантотенова кислота	10	Входить до складу коферменту ацетилювання (КоА або КоА-SH), що регулює процеси розпаду вуглеводів і	Порушення нервово-м'язової діяльності

			жирів і біосинтезу глюкози і стероїдів	
B <sub>5</sub> (PP)	Нікотинова кислота, нікотинамід, ніацин	15 – 25	Входить до складу переносників Гідрогену НАД та НАДФ, що регулюють процеси енергоутворення (АТФ) та біосинтезу речовин	Пелагра („хвороба ВД”: дерматити, діарея, деменція) – сухість шкіри, пронос, порушення психіки, втрата пам'яті
B <sub>6</sub>	Піридоксин, піридоксаль	2 – 3	Регулює біосинтез білків (анаболічна дія), розпад глікогену, біосинтез біологічно активних амінів (гістаміну, серотоніну, гама-аміномасляної кислоти)	Дерматити, що не лікуються вітаміном PP
B <sub>12</sub>	Ціанкобаламін	0,003	Регулює обмін амінокислот і нуклеїнових кислот, біосинтез білка (анаболічна дія), окислення вуглеводів, покращує функцію печінки	Анемія, розлади нервової системи та координації рухів
C	Аскорбінова кислота	70 – 100	Регулює процеси енергоутворення (АТФ), біосинтез білка (анабо-лічна дія), у тому числі колагену, який необхідний для м'язів, сухожилів, зв'язок, судин. Впливає на проникність капілярів, синтез стероїдних гормонів, стійкість до інфекційних захворювань. Антиоксидант	Крововиливи, порушення проникності судин (цинга). Для запобігання цинги достатньо 10 мг вітаміну C
P	Рутин	30	Підвищує надходження кисню до тканин, регулює проникність капілярів, підсилює дію вітаміну C	Порушення проникності судин
H	Біотин	2	Впливає на біосинтез жирних кислот, окиснення вуглеводів (енергоутворення)	Запалення шкірних залоз (себо-рея), порушення функції м'язів, психічної діяльності швидка стомлюваність

Таблиця 3. Вітаміноподібні речовини та їх біологічна дія в організмі людини

Речовина	Хімічна назва	Добова потреба для дорослих, мг	Біологічна дія вітаміноподібних речовин
B <sub>8</sub>	Інозит	1000	Регулює функцію нервової системи, вихід жирів із печінки (ліпотропна дія), перистальтику шлунку
B <sub>9</sub> або B <sub>C</sub>	Фолієва кислота	0,2	Регулює біосинтез білка (анаболічна дія), процеси енергоутворення та кровотворення (антианемічна дія)
B <sub>13</sub>	Оротова кислота	Не відомо	Регулює біосинтез нуклеїнових кислот (анаболічна дія)
B <sub>15</sub>	Пангамова	2	Сприяє надходженню кисню до

	кислота		тканин та ефективності його використання, збільшує вміст глікогену у печінці, креатин фосфату в м'язах
Кофермент Q	Убіхінон	Не відомо	Бере участь в утворенні АТФ в аеробному процесі як компонент дихального ланцюга
Вітамін N	Ліпоева кислота	2	Регулює обмін вуглеводів та жирів, в тому числі холестерину. Запобігає ожирінню печінки і захищає її від токсичних речовин
	Холін	250 – 600	Впливає на обмін амінокислоти метіонін, покращує біосинте-тичну функцію печінки, захищає її від ожиріння
Вітамін U	S-метионін	Не відомо	Запобігає утворенню виразок у шлунку
	Карнітин	500	Підсилює окислення жирних кислот у тканинах

2. Речовини, які здатні пригнічувати дію вітамінів і викликати стан авітамінозу навіть за умов достатнього забезпечення організму вітамінами, називають *антивітамінами*. Антивітаміни найчастіше блокують активні центри ферментів, витісняючи з них відповідні вітаміни, що виконували роль коферментів. До недавнього часу антивітамінами вважалися речовини-структурні аналоги вітамінів, які після введення в організм викликали стан гіпо- або авітамінозу.

Зараз серед антивітамінів розрізняють дві групи:

- 1) речовини, структурно подібні до нативних вітамінів;
- 2) речовини, що відрізняються за структурою від вітамінів, але здатні модифікувати хімічну природу вітамінів і пригнічувати їх біологічну дію.

Отже, антивітаміни можуть мати різні структуру та механізм дії на нативні вітаміни, тому до антивітамінів можна віднести і деякі ферменти, що мають здатність розщеплювати або зв'язувати вітаміни і тим самим позбавляти їх здатності проявляти свою дію. Наприклад, тіаміназа розщеплює молекулу вітаміну В<sub>1</sub>, аскорбатоксидаза розщеплює вітамін С, авідин зв'язує біотин в біологічно неактивний комплекс.

Структурно подібні антивітаміни є антиметаболітами, бо при взаємодії з апоферментами утворюють неактивний ферментний комплекс, нездатний до продовження реакції. Багато з них застосовується в лікувальній справі. Так, антивітамін (антагоніст) вітаміну К застосовується для пригнічення згортання крові з метою профілактики тромбозів; птеридини (антивітаміни фоліацину – вітаміну В<sub>10</sub>) для лікування лейкозів, сульфаніламід як антагоністи параамінобензойної кислоти – для лікування інфекційних захворювань тощо.

Деякі антивітаміни застосовуються для викликання експериментальних моделей гіпо- або авітамінозів.

#### ПИТАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ:

1. Розкажіть про роль вітамінів у харчуванні людини і тварин.
2. Що вам відомо про співвідношення вітамінів і ферментів? Наведіть приклади.

## Тема 5. Загальні закономірності обміну речовин в організмі людини

### ПЛАН:

#### 1. Значення білкового обміну

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Конильчук Г.Н. *Біохімія*. Підручник для студентів спеціальності „Фізкультура”. Х., 2004 рік
2. Явоненко А.Ф. *Біохімія людини*. К.:Знання, 2001 рік
3. Фримантл М. *Хімія в действии*. М.: Мир, 1991 год

#### **Вимоги до знань та вмінь студентів**

По завершенні вивчення теми студенти повинні знати:

- загальні закономірності обміну речовин в організмі людини;
- взаємозв'язок обміну речовин в організмі людини;
- енергетику обміну речовин;
- обмін білків, зокрема шляхи розпаду білків і повинні вміти:
- писати рівняння реакцій розпаду білків, реакцій переамінування.

1. Білки складають близько 18-20% від загальної маси і близько 50% сухої маси тіла людини. В організмі масою 70 кг є 12-15 кг білків. На відміну від вуглеводів і жирів, в організмі немає резервних білків. У той же час білки відіграють надзвичайно важливі функції в організмі (пластична, каталітична, енергетична, гормональна, захисна тощо). Це означає, що білки дуже динамічні структури, в організм вони постійно надходять із харчовими продуктами, синтезуються, розкладаються, перетворюються в інші речовини.

Організм може тривалий час обходитися без жирів або вуглеводів, але виключення з раціону білків навіть на короткий час призводить до значних порушень, а іноді – до незворотних змін.

За добу в організмі людини оновлюється близько 400 г білків, тобто стільки розпадається до амінокислот і стільки ж синтезується. Частина амінокислот, утворених при розпаді білків, використовується для біосинтезу нових білків із поповненням енергії у вигляді АТФ або перетворюється в непептидні речовини (аміни, гем, тироксин, холін, таурин тощо). Це означає, що для поповнення втрачених під час метаболізму амінокислот організм повинен постійно отримувати білки з продуктами харчування. Під час травлення в шлунково-кишковому тракті білки розпадаються до амінокислот. Утворені амінокислоти використовуються для синтезу білків організму і азотистих речовин небілкової природи.

Оскільки на частку білків та вільних амінокислот припадає більше 95% всього Нітрогену в організмі, то за азотовим (Нітрогеновим) балансом, тобто різницею між кількістю Нітрогену, що надходить в організм з їжею, і кількістю Нітрогену, що виводиться з організму (переважно у вигляді сечовини), можна оцінювати загальний білковий обмін.

Розрізняють три види Нітрогенового балансу.

I. Нульовий Нітрогеновий баланс. В дорослої здорової людини при нормальному харчуванні спостерігається нульова різниця між Нітрогеном, що надходить з їжею, і тим, що виділяється з організму.



II. Позитивний Нітрогеновий баланс. Буває під час росту організму, вагітності, одужання після виснажливих захворювань. За цих умов кількість Нітрогену, що надходить до організму з їжею, перевищує кількість Нітрогену, що з організму виводиться. Таким чином, в цих випадках загальна білкова маса в організмі зростає.

III. Негативний Нітрогеновий баланс. Він вказує на збільшення маси Нітрогену, що виводиться з організму, в порівнянні з тим, що надходить. Спостерігається в похилому віці, при виснажливих захворюваннях, білковому або повному голодуванні. В таких випадках загальна білкова маса в організмі зменшується.

Повне виключення білка з їжі призводить до швидкого розвитку негативного Нітрогенового балансу, що виражається щоденною втратою близько 4 г Нітрогену, тобто 25 г білка. Це означає, що за умов виключення білка з їжі та при достатньому надходженні всіх інших харчових продуктів за добу організм втратить близько 25 г тканинних білків. У разі повного голодування втрата білків ще більша, оскільки в такому випадку амінокислоти, що утворюються при розпаді тканинних білків, будуть використовуватися і на забезпечення енергетичних потреб організму. Максимальна кількість Нітрогену, що екскретується за цих умов, складе близько 20 г, тобто розкладається близько 125 г білка на добу. Тривале білкове голодування, як і повне голодування, неодмінно призводить до смерті.

Наслідки білкового голодування:

- порушення фізичної і психічної активності;
- зниження вмісту білків плазми, що спричиняє порушення колоїдно-осмотичної рівноваги, набряки;
- зниження синтезу білків м'язів;
- недокрів'я;
- ослаблення діяльності серця;
- порушення імунітету тощо.

Як було вказано вище, у дорослої людини при нормальному харчуванні має місце азотова рівновага. Якщо в умовах Нітрогенової (азотової) рівноваги підвищити кількість білка в їжі, то рівновага незабаром відновиться, але вже на вищому рівні. Таким чином, Нітрогенова рівновага може встановлюватися при значних коливаннях вмісту білка в їжі. Мінімальна кількість білка в раціоні, достатньому за калорійністю, при якій підтримується Нітрогенова рівновага, складає 30-50 г. Оптимальним для підтримання нормального стану дорослого організму є споживання 80-100 г повноцінного білка (при важкій роботі – 100-150 г).

Експерименти з міченим нуклідом  $^{15}\text{N}$  амінокислотами показали, що всі білки тіла постійно оновлюються. Швидкість оновлення білків різних структур організму істотно відрізняється. Кількісно її виражають через період напіврозпаду, тобто час, за який розпадається половина білків тіла або певного органу чи навіть певних білків. Період напіврозпаду білків плазми крові складає близько 10 днів, білків слизової оболонки кишечника – декілька днів, розчинних білків печінки – від хвилин до 20-30 днів, білків-гормонів – від кількох хвилин до тижня і більше. Повільніше оновлюються білки м'язів, мозку, шкіри, сполучної тканини.

Різні білки будь-якої тканини чи органа також значно відрізняються за швидкістю оновлення. Наприклад, період напіврозпаду міозину м'язів – 27 тижнів, а деяких ферментів м'язових клітин – години чи декілька днів.

Середня величина періоду напіврозпаду для білків всього організму людини складає приблизно 80 днів. Щоденно в організмі людини за умов азотної (Нітрогенової) рівноваги синтезується близько 400 г білків, тобто приблизно в 4 рази більше, ніж споживається з їжею.

Висока швидкість синтезу білка точно зрівноважується швидкістю його розпаду.

Регуляція обміну білків здійснюється групою гормонів. Зокрема, інсулін, соматотропні, тироксин, чоловічі і жіночі статеві гормони у фізіологічних умовах стимулюють біосинтез білка. Глюкокортикоїди гальмують синтез білків у більшості тканин, за винятком печінки, і стимулюють використання амінокислот для глюконеогенезу.

Таким чином, на білковий обмін впливають:

- вік;
- фізіологічний стан організму, зокрема, нервово-гормональний статус;
- фізичне навантаження;
- характер харчування (кількісний і якісний склад білків їжі, а також надходження з нею вуглеводів, ліпідів, вітамінів, мінеральних солей).

#### ПИТАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ:

1. Розкажіть про значення білкового обміну.
2. Що означає вислів „енергетична цінність білків”?
3. Як ви розумієте поняття „повноцінні білки”? ...”раціональне харчування”?

## Тема 6. Вуглеводи та їх обмін. Ліпіди та їх обмін

### ПЛАН:

1. Локалізація ліпідів у клітині і їх біологічне значення.

Вимоги до знань та вмінь студентів

По завершенні вивчення теми студенти повинні знати:

- загальну характеристику вуглеводів та ліпідів;
- класифікацію вуглеводів і ліпідів, їх локалізацію в клітині та біологічне значення;

- шляхи розпаду вуглеводів і ліпідів та синтезу видоспецифічних ліпідів і вуглеводів в організмі;

- взаємозв'язок обміну білків, вуглеводів і ліпідів

і повинні вміти:

- писати основні рівняння обміну вуглеводів і ліпідів, фосфорилування, розпаду глюкози:

- володіти методиками біохімічного обстеження організму в процесі вивчення обміну вуглеводів і ліпідів.

1. Ліпіди (від грецького ліпос – жирний) – це жироподібні сполуки біологічного походження різноманітної структури, нерозчинні у воді, але розчинні у неполярних органічних розчинниках.

Ліпіди є структурними компонентами клітинних мембран, служать резервним енергетичним матеріалом. Крім цих основних функцій, ліпіди виконують роль бар'єрів, які захищають організм від термічного і механічного впливів, можуть бути попередниками інших біологічно активних речовин.

Ліпіди ділять на прості, складні і похідні ліпідів.

Прості ліпіди – це естери спиртів і жирних кислот. Сюди відносять жири, воски, ісоко та естери вітамінів А та D.

Складні ліпіди містять, крім спирту і жирних кислот, ще додаткові компоненти.

Таблиця 1. Хімічний склад окремих груп ліпідів

Клас	високоенерг	Група	Компоненти		
			Спирт	Жирні кислоти (кількість)	Інші компоненти
Прості ліпіди	-	Жири (триацилгліцерини)	Гліцерол	3	-
		Воски	Вищі спирти	1	-
		Стероїди	Холестерин	1	-
Складні ліпіди	Фосфоліпіди	Гліцерофосфоліпіди	Гліцерол	2	Фосфат, азотиста основа
		Сфінгофосфоліпіди	Сфінгозин	1	Фосфат, азотиста основа
	Гліколіпіди	Цереброзиди	Сфінгозин	1	Гексози, гексозаміни
					Гексози,

		Гангліозиди	Сфінгозин	1	гексозаміни, сіалові кислоти
--	--	-------------	-----------	---	------------------------------------

В організмі зустрічаються у вільному вигляді і компоненти ліпідів, зокрема жирні кислоти і холестерин. До похідних ліпідів можна віднести стероїдні гормони, жовчні кислоти і вітамін D<sub>3</sub> (похідні холестерину), простагландини, тромбоксани і лейкотрієни (похідні високо енергетич арахідонової кислоти).

Різні групи ліпідів розрізняються за фізико-хімічними властивостями, що має значення для їх функцій в організмі. Зокрема, нейтральні жири є неполярними гідрофобними речовинами, оскільки не містять заряджених чи сильно полярних функціональних груп. У клітинах жири містяться в цитоплазмі у вигляді дрібнодисперсних емульсованих маслянистих крапельок, а у клітинах жирової тканини відкладаються у вигляді крапель, що заповнюють майже весь об'єм клітини. До складу мембран жири не входять. Таким чином, жири (триацилгліцерини) є резервними ліпідами. Естери холестерину (холестерини) також неполярні, гідрофобні і виконують роль резервної і транспортної форми холестерину.

Інші групи ліпідів – фосфоліпіди, сфінгомієліни, гліколіпіди – є полярними сполуками, для яких характерні амфифільні властивості. Такі речовини містять полярні чи йонні гідрофільні групи і неполярні гідрофобні, якими є довгий нерозгалужений карбоновий ланцюг жирної кислоти і спирту сфінгозину. Завдяки амфифільним властивостям фосфоліпіди і гліколіпіди є компонентами мембран. Холестерин має невеличку гідрофільну групу (гідроксил), тому амфифільні властивості в нього менш виражені, ніж у фосфоліпідів, але він теж входить до складу мембран, де локалізований у їх гідрофобній ділянці.

Жири мають суттєве значення в енергетичному забезпеченні тривалої м'язової діяльності. Великий їх вміст в організмі та енергоємність (в них запасється більше 70 000 ккал) створює безмежні енергетичні можливості. У зв'язку з цим відпадає необхідність в їх надходженні під час тривалої м'язової діяльності, що характерно для вуглеводів. Скелетні м'язи використовують для енергетичних потреб запаси своїх жирів, а також продукти розпаду резервних жирів плазми крові та жирової тканини, засвоюючи вільні жирні кислоти із крові.

Залежно від будови жири організму людини ділять на три основні класи: нейтральні жири, фосфоліпіди стероїди.

Нейтральні жири – це група ліпідів, побудована із трьохатомного спирту гліцерилу і трьох залишків жирних кислот. Тому їх називають тригліцеридами. Більшість нейтральних жирів знаходяться в підшкірній жировій клітковині та сальнику і є основою резервних (запасних) жирів. Під час голодування, недостатнього споживання жирів та при тривалій аеробній роботі вміст цих жирів зменшується або вичерпується. Резервні жири – це енергетичний запас організму, що використовується в разі значних енергетичних витрат. Їх вміст в організмі людини масою 70 кг сягає близько 11 кг.

Тригліцериди також входять до складу протейдів протоплазми і мають назву протоплазматичні жири. Ці жири не використовуються для енергетичних потреб навіть у разі виснаження організму. Вони виконують лише структурну роль в організмі. Їх вміст відносно невеликий.

Фосфоліпіди – це група ліпідів, побудованих зі спирту.(гліцерину), двох залишків жирних кислот, залишку ортофосфатної кислоти та певної нітрогеновмісної групи (спирту – холіну, амінокислоти – серину тощо).

Біологічна роль фосфоліпідів дуже важлива. Вони є структурним компонентом всіх клітинних мембран, її ліпідною оболонкою, особливо багато їх в мозку. Вони також постачають холін, необхідний для утворення нейротрансміттера – ацетилхоліну в нервових клітинах. Фосфоліпіди, що входять до клітинних мембран, забезпечують їх властивості – проникність, рецепторну функцію тощо.

Під час м'язової діяльності, запальних процесів, надходження токсичних речовин із фосфоліпідів і ненасичених жирних кислот можуть утворитися шкідливі продукти перексидного окислення ліпідів, що знижують працездатність людини, викликають хронічне стомлення та хвороби. Протидіють цьому антиоксидантні ферментні системи та специфічні речовини – антиоксиданти (вітаміни, мінерали тощо).

Стероїди – це клас ліпідів, до складу яких входить складний цикл стерину. Представником стерину є холестерол. Його біологічна роль різноманітна:

- він входить до клітинних мембран та обмежує їх проникність;
- з нього синтезуються гормони стероїдної природи, що проявляють анаболічну та андрогенну чи естрогенну дію;
- синтезується вітамін D<sub>3</sub> під дією сонячного проміння;
- утворюються в печінці жовчні кислоти, які надходять із жовчю в кишківник та сприяють розщепленню та транспорту жирів їжі.

Але на синтез названих речовин використовується лише 0,5 – 0,7 г холестеролу протягом доби із 140 г, що міститься в організмі людини. Основна кількість його знаходиться в клітинних мембранах, а близько 10 г циркулює в плазмі крові.

Рівень холестеролу в крові залежить від збалансованості процесів синтезу та розпаду, а також виведення його з організму. Добова норма становить приблизно 1 г, вона може бути забезпечена за рахунок біосинтезу холестеролу в печінці з молекул ацетил-КоА. З продуктами харчування в організм надходить не більше 300 мг холестеролу.

Добова потреба дорослої людини в жирах становить 30 – 35% калорійності раціону харчування.

Харчовий раціон повинен містити ліпідів у середньому 1,5 г на 1 кг маси тіла на добу, тобто 80 – 100 г залежно від віку, витрат енергії тощо. З них 70% мають бути тваринні жири і 30% - рослинні. Надмірне надходження жирів з їжею призводить до розвитку різних захворювань. Недостатнє надходження жирів з їжею або ненадходження їх в організм в енергетичному плані може бути замінене вуглеводами чи білками, але вони використовуються в організмі не лише для енергії, тому мають бути в раціоні харчування хоча б мінімальній кількості (10 г).

Біологічна роль жирів в організмі людини різноманітна. Жири роблять суттєвий внесок у забезпечення організму енергією, поповнюючи 25 – 35% енергетичних витрат людини протягом доби. У жирах запасується багато енергії: 1 кг жирової тканини може забезпечити енергією виконання роботи протягом 10 – 20 годин. Використання жирів під час м'язової діяльності сприяє більш ефективному виконанню довготривалої роботи та віддаленню виснаження організму. Оскільки

запаси жирів занадто великі, то немає необхідності додаткового їх надходження під час фізичної роботи, але поповнення має бути постійним.

Енергетичну функцію виконують нейтральні або резервні жири, що відкладаються в жирових депо чи у вигляді краплинок у м'язах. Вони високоенергетичні. При окисненні 1 г жиру виділяється 39 кДж або 9,3 ккал енергії, що майже вдвічі більше, ніж при окисненні вуглеводів чи білків. Запаси тканинних жирів використовуються дуже повільно навіть у довготривалій роботі. Так спортсмен, пробігаючи марафонську дистанцію (42 195 м), витрачає менше 1 г жиру. Це пов'язано з тим, що жири інтенсивно окиснюються лише за умови доброго забезпечення клітин киснем (аеробно) та після зниження запасу вуглеводів, а їх вистачає марафонцю, наприклад, на 80 хвилин бігу. Тому суттєве „згорання” жирів можливе лише під час довготривалих фізичних навантажень помірної інтенсивності.

Нейтральні жири виконують також терморегуляторну функцію в організмі (зберігають тепло), захищають судини та нервові закінчення від механічних пошкоджень, ізолюють нервові волокна одне від одного (мієлін), розчиняють жиророзчинні вітаміни. Окремі класи жирів є структурним компонентом усіх клітинних мембран, використовуються для синтезу біологічно активних речовин (стероїдних гормонів, простагландинів, жовчних кислот тощо), а полі ненасичені жирні кислоти проявляють ліпотропну дію, тобто підсилюють вихід жирів із печінки в кров'яне русло і запобігають ожирінню печінки.

#### ПИТАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ:

1. Як локалізація ліпідів у клітині відображає їх біологічну роль?
2. Де в клітинах живих організмів локалізовані білки?

## Тема 7. Обмін води і мінеральних речовин

### ПЛАН:

1. Вміст і розподіл води в організмі і клітині

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Конильчук Г.Н. *Біохімія*. Підручник для студентів спеціальності „Фізкультура”. Х., 2004 рік
2. Явоненко А.Ф. *Біохімія людини*. К.:Знання, 2001 рік
3. Фримантл М. *Хімія в действии*. М.: Мир, 1991 год

### Вимоги до знань та вмінь студентів

По завершенні вивчення теми студенти повинні знати:

- вміст і розподіл води в організмі, стан води в тканинах;
- регулювання водного обміну;
- обмін мінеральних речовин та роль хімічних елементів в процесах обміну органічних речовин

і повинні вміти:

- складати окисно-відновні реакції.

1. Вміст і розподіл води в організмі.

Поряд з білками, вуглеводами, ліпідами, ферментами, вітамінами і гормонами в клітинах різних органів, тканин і міжклітинних рідинах містяться неорганічні речовини, до яких відносяться вода і солі.

Вода – найважливіша складова частина всіх клітин. Кількісно її вміст значно більший, ніж інших компонентів. Проте вода є не тільки складовою частиною клітин, вона служить також середовищем, в якому існують клітини і за допомогою якого підтримується зв'язок між ними. Крім того, вода – це середовище, де відбуваються всі хімічні реакції, пов'язані з життєдіяльністю організму.

Вода виконує важливу механічну роль, сприяючи ковзанню поверхонь суглобів, зв'язок тощо.

Завдяки випаровуванню води з поверхні шкіри людина і теплокровні тварини зберігають постійну температуру тіла при посиленому утворенні тепла в організмі або при високій температурі навколишнього середовища.

Вода складає основу всіх рідин в організмі: крові, лімфи, сечі, соків травного апарату, спинномозкової рідини й ін. Тому всі живі організми, як правило, не здатні витримувати зневоднення. Людина і тварини гинуть від нестачі води значно швидше, ніж від нестачі їжі. Якщо повне голодування людина може витримати протягом 30 діб і більше, то без води смерть настає через декілька діб.

В організмі людини вміст води становить  $\frac{2}{3}$  маси тіла і змінюється з віком. Так, у чотиримісячного ембріона кількість води складає 94% , у новонароджених - 77%, у дорослих людей -50-65%, у старих – до 50% . Тіло чоловіків містить у середньому 60% води, тоді як жінок - 50%.

Рівень води в різних тканинах неоднаковий. Сполучна і кісткова тканини містять відносно мало води, а кров, нервова тканина, м'язи, печінка - значно більше. Так, у слині до 99% води, у крові – до 92%, у кістках – близько 30%, відносно багато в м'язах – до 70%. Кількість води в організмі залежить також від вмісту жиру: чим більше жиру, тим менше води. В організмі вода є основою біологічних рідин: плазми, цитоплазми, лімфи, клітинної рідини, кишкового соку, слини, сечі та ін. Вода в них знаходиться в різних станах, тому має різне значення.

Усю воду в організмі поділяють на *внутрішньоклітинну*, або *інтрацелюлярну* (- 72%), і *позаклітинну*, або *екстрацелюлярну* (- 28%).

Кров, лімфа і міжклітинна рідина всього організму утворюють єдину фазу. Склад лімфи і міжклітинної рідини приблизно відповідають складу плазми крові. Рідке середовище клітин різних тканин організму має приблизно однаковий склад і визначається як внутрішньоклітинна рідина. Внутрішньоклітинна рідина містить у середньому близько 35-45% води відносно маси тіла, позаклітинна - 15%. Ці рідини різняться також складом електролітів. У позаклітинній рідині переважають іони натрію, хлору і гідрокарбонатів; у внутрішньоклітинній - іони калію, а також білки і фосфорні естери.

Вирізняють такі стани води в організмі:

▶ Гідратаційна, або зв'язана з білками, вода. Кількість її майже незмінна, не зважаючи на процеси гідратації. Її вміст в організмі суттєво знижується лише під час старіння, що призводить до зморщування тканини.

▶ Імобілізована вода – та, що знаходиться у замкнутому просторі між мембранами клітин чи структурами складних речовин. Вона створює умови для перебігу обмінних процесів у клітинах і підтримує їхні функції, структуру і форму. До 63% води в організмі знаходиться у цитоплазмі клітин.

▶ Вільна вода – це вода різних біологічних рідин організму. Найбільше її в міжклітинному просторі. Саме її організм легко втрачає в результаті потовиділення. Якщо ж ця вода в організмі затримується з якихось причин (наприклад, при порушенні роботи нирок), то утворюються набряки, бо вона збирається під шкірою у клітковині.

Біологічне значення води в організмі досить різноманітне завдяки особливостям будови її молекули. В організмі людини вода виконує такі функції:

1. Розчиняє багато речовин.
2. Бере участь у біохімічних реакціях (гідроліз, гідратація).
3. Є середовищем проходження біохімічних перетворень.
4. Підтримує форму клітин та їхні функції.
5. Підтримує температуру тіла за рахунок потовиділення.
6. підтримує кислотно-основний стан організму.
7. Забезпечує транспорт речовин та сама вирівнює їх концентрацію завдяки осмосу.
8. Є основою біологічних рідин організму.
9. Підтримує осмотичний тиск біологічних рідин, що є важливою умовою діяльності серцево-судинної системи та функцій різних клітин.

Отже, вода створює умови гомеостазу в організмі, порушення яких призводить до зниження працездатності, розвитку захворювань і навіть смерті. Тому так важливо підтримувати водний баланс організму – рівновагу між виділеною та спожитою водою.

Добова потреба у воді звичайної дорослої людини в середньому становить 2,5 - 2,8 л або 40мл на 1 кг маси тіла. Для дітей потреба у воді у 2 – 3 рази більша і становить 80 – 100 мл на 1 кг маси тіла.

Запаси води поповнюються як за рахунок води, що надходить з їжею та напоями (екзогенна вода), так і за рахунок води, що утворюється в тканинах організму в процесі обміну речовин (ендогенна або метаболічна вода). Кількість



ендогенної води становить не більше 250 – 350 мл на добу і залежить від інтенсивності обміну речовин і особливостей окислення окремих речовин. Найбільше води утворюється при окисненні жирів – 107 г на 100 г жиру, менше – при окисненні вуглеводів (56 г) та білків (41 г).

Втрату води організмом або зневоднення називають дегідратацією. Вона викликає зменшення об'єму плазми крові і швидкості транспорту речовин через збільшення її густини, що погіршує діяльність серцево-судинної та нервової системи, скелетних м'язів тощо. Тому дегідратація організму на 1% викликає відчуття спраги, на 5% - зниження фізичної працездатності на 30% і можливий головний біль, а понад 7% - коматозний стан, затьмарення свідомості та галюцинації.

Під час фізичних навантажень зневоднення організму особливо швидко спостерігається у дітей, оскільки вони мають великий вміст міжклітинної води і швидко втрачають її.

Водний баланс може бути порушений за надмірного накопичення води в організмі внаслідок фізіологічних та паталогічних змін в організмі. Це проявляється прихованим або вираженим набряком і називається гіпергідратацією.

#### ПИТАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ:

1. Охарактеризуйте роль, функції та види води в організмі.

## ТЕМА 8. Гормони

### ПЛАН:

1. Причини уособлення гормонів в процесі еволюції живої матерії.
2. Характеристика найважливіших з гормонів.

Вимоги до знань та вмінь студентів

По завершенні вивчення теми студенти повинні знати:

- визначення поняття „гормони”, їх номенклатуру і класифікацію;
  - основні біохімічні функції гормонів;
  - назви стероїдних гормонів, їх будову, властивості і причини функціональної активності;
  - механізм дії стероїдних гормонів;
  - причини уособлення гормонів в процесі еволюції живої матерії;
  - характеристику основних гормонів
- і повинні вміти:
- записувати формули найважливіших гормонів.

1. Причини уособлення гормонів в процесі еволюції живої матерії.

Весь хід розвитку живої природи переконує в тому, що еволюція йшла одночасно у напрямку все більшої видової та індивідуальної різноманітності живих особин. Збереження нижчих тварин, які були позбавлені гнучких механізмів пристосування до змінних умов середовища, забезпечувалося виключно їх здатністю стрімко розмножуватися. Вищі тварини – це багатофункціональні структури, рівень організації яких передбачав строгу незалежність їх внутрішнього середовища від зовнішніх факторів. Розвиток систем автономного життєзабезпечення значно зменшував ризик загинути, не залишивши по собі нащадків та не забезпечивши їх безпеку в період незрілості. Так ускладнення структури організмів підвищувало вірогідність їх виживання і продовження роду.

Генералізовані спеціалізовані ефекти гуморальної регуляції здійснюється за допомогою особливих хімічних регуляторів внутрішнього середовища – гормонів. Гормонами називають хімічні сполуки, які синтезуються і виділяються спеціалізованими ендокринними залозами (інсулін – острівцями Лангерганса підшлункової залози), тканинами та органами (щитовидною залозою, наднирковими залозами) у внутрішнє середовище для регуляції обміну речовин і фізіологічних функцій організму, гуморального забезпечення координації та інтеграції процесів життєдіяльності.

Гормони відрізняються від решти біологічно активних речовин (наприклад, метаболітів та медіаторів) за двома основними критеріями: вони синтезуються спеціалізованими ендокринними клітинами; вони здійснюють вплив через внутрішнє середовище на віддалені від секретуючої їх тканини клітини-мішені, тобто діють дистанційно.

Гормони є надзвичайно високоактивними сполуками: їх концентрації виражаються в нанограмах або й навіть в пікограмах. За розрахунками, 1 г адреналіну може активувати 100 млн сердець жаб, 1 г інсуліну – знизити рівень глюкози у крові 125 тисяч кроликів тощо. Гормони здійснюють виражений позитивний вплив на емоційну сферу, інтелектуальну та фізичну активність, витривалість організму, статевий потяг тощо.

Існує загальнобіологічний принцип розвитку, згідно з яким чим вищий рівень функціональної системи, тим більше виражена диференціація клітин та молекул, які цю систему утворюють. А чим більша диференціація, тим важче і важливіше узгоджувати діяльність всіх складових системи (читай „клітин, тканин, органів та систем органів”). Таким чином, головною причиною виникнення гормонів та ендокринної системи є ускладнення організації тіла ссавців та потреба узгоджувати і регулювати діяльність всіх його систем, органів, тканин та клітин.

## **2. Характеристика найважливіших з гормонів.**

### **ГОРМОНИ ГІПОФІЗУ**

**Соматотропін**, або **гормон росту**, стійкий до дії підвищеної температури, має властивості глобулінів. Молекула його складається з одного поліпептидного ланцюга.

Соматотропін здійснює багатогранну дію на всі види обміну речовин. Він активізує діяльність ферментів синтезу РНК і інтенсивність білкового синтезу. Посилює проникність клітин для амінокислот, мітотичний поділ клітин, біосинтез глікогену і мобілізацію жирів із жирових депо, а також відкладення кальцію і фосфору в кістках.

Підвищена продукція соматотропіну в ранньому віці призводить до гігантизму, недостатня - до нанізму (карликового росту). У дорослих людей надмірне виділення цього гормону викликає захворювання акромегалію, яка виражається в непропорційному збільшенні виступаючих частин тіла (стіп, кистей, щелеп, губ, носа).

Під контролем соматотропіну знаходиться ріст кісткової тканини, тісно пов'язаний із синтезом білків.

**Пролактин**, або **лактогенний гормон**, відноситься до білків. Регулює розвиток і функціонування молочних залоз і материнського інстинкту. Після пологів вміст цього гормону завжди збільшується і залишається підвищеним протягом усього періоду секреції молока.

Функція пролактину в організмі тісно пов'язана з дією гонадотропних гормонів, під впливом яких посилюється ріст залозистої тканини і вивідних протоків молочної залози. У свою чергу пролактин необхідний для продукування статевих гормонів і в такий спосіб доповнює дію гонадотропних гормонів. Пролактин бере участь також у регуляції водно-сольового обміну.

**Тиреотропін**, або **тиреотропний гормон**, стимулює розвиток і діяльність щитовидної залози. Тиреотропін належить до складних білків глікопротеїдів, що містять 3,5% гексози, 2,5% глюкозаміну і близько 1% сірки. Під впливом цього гормону посилюється виділення гормонів щитовидної залози. Вплив тиреотропіну на щитовидну залозу полягає в тому, що він сприяє накопиченню йоду цієї залозою і включенню його в молекулу тирозину.

При захворюванні передньої долі гіпофізу синтез тиреотропіну сповільнюється, що призводить до переродження залозистої тканини щитовидної залози, яке супроводжується появою зоба.

**Кортикотропін**, або **адренкортикотропний гормон (АКТГ)**, стимулює діяльність кори наднирників. За своєю хімічною природою молекула кортикотропіну - нерозгалужений поліпептид.

Кортикотропін сприяє підвищенню вмісту холестерину в корі надниркових залоз і перетворенню його в кортикостероїди - гормони наднирників. Крім того, він підвищує проникнення глюкози в клітини наднирників і активізує процеси, пов'язані з утворенням відновлених форм НАДФ · Н<sub>2</sub>. Атоми водню НАДФ · Н<sub>2</sub> використовуються потім при синтезі гормонів у корі надниркових залоз із оцтової кислоти і холестерину. Кортикотропін є також активатором ліпаз, фосфорилаз і інших ферментів.

*Гонадотропні гормони є стимуляторами функцій чоловічих і жіночих статевих залоз.*

**Фолітропін, або фолікулостимулюючий гормон,** стимулює ріст і дозрівання фолікулів яєчника самок і утворення сперми в самців. Фолітропін належить до складних білків глікопротеїдів, які містять сірку, азот, глюкозу і глюкоза-мін. Інтенсивність виділення гормону залежить від фаз статевого циклу.

**Лютропін, або лютеїнізуючий гормон,** стимулює в самок ріст і дозрівання фолікулів, овуляцію й утворення жовтого тіла. У самців лютропін викликає розвиток інтерстиціальної тканини сім'яників і синтез тестостерону. Гормон належить до глікопротеїдів. Його молекула містить тирозин, триптофан і глюкозамін.

Після прояву своєї біологічної дії фолітропін і лютропін руйнуються.

**Гормони середньої долі гіпофізу.** У цій частині гіпофізу виявлено лише один гормон - **меланотропін, або меланоцитстимулюючий гормон,** який регулює пігментацію шкіри. Його молекула являє собою поліпептид, що складається з 18 різних амінокислот. Під впливом цього гормону амінокислота тирозин перетворюється в меланін.

Останнім часом встановлено, що меланотропін активізує біосинтез родопсину - світлочутливого пігменту сітківки ока, чим сприяє підвищенню гостроти зору.

**Гормони задньої долі гіпофіза. Вазопресин, або антидіуретичний гормон,** впливаючи на рецептори кровоносних судин, викликає їх звуження, у результаті чого підвищується кров'яний тиск. Поряд із цим відбувається зворотне всмоктування води в капілярах ниркових каналців, завдяки чому вазопресин одержав ще одну назву - антидіуретичний гормон.

Вазопресин бере участь у підтриманні постійного водносолевого обміну в організмі.

Якщо функції гіпофізу порушені, продукція вазопресину послаблюється, що призводить до посиленого діурезу. Кількість сечі на добу може сягати десяти літрів і більше. Таке захворювання називається нецукровим діабетом.

**Окситоцин** підвищує тонус гладкої мускулатури, особливо матки. Механізм дії окситоцину полягає в тому, що він підвищує проникнення калію в клітини м'язів матки і тим самим пригнічує активність ацетилхолінестерази. У результаті цього підвищується збуджуваність і скорочення м'язів. Тому окситоцин застосовують в акушерсько-гінекологічній практиці для стимулювання мускулатури матки при слабких потугах під час родів, а також для стимуляції м'язових скорочень молочної залози.

На закінчення слід зазначити, що вплив гормонів гіпофізу на залози внутрішньої секреції здійснюється двома шляхами: нервовим і гуморальним. Циркуюючи в крові, гормони досягають відповідних ендокринних залоз і

викликають тим самим певні зміни в їх функціях. Одночасно з цим гіпофіз є частиною мозку, тобто функціонально і структурно з ним пов'язаний. Завдяки цьому гормони гіпофізу досягають мозку, і тоді вплив їх на органи відбувається через нервову систему. Таким чином, існує єдиний нейрогуморальний механізм впливу гіпофізу на залози внутрішньої секреції.

### ГОРМОНИ ПІДШЛУНКОВОЇ ЗАЛОЗИ

**Інсулін.** Відкриття цього гормону пов'язане із з'ясуванням причин хвороби під назвою "цукровий діабет".

Інсулін впливає на багато ланок обміну речовин, проте, насамперед, він сприяє використанню вуглеводів. Як регулятор інсулін підтримує активність ферменту гексокінази, стимулюючи тим самим процеси фосфорилування цукрів - першого обов'язкового етапу, без якого в організмі не може використовуватися глюкоза. Одночасно з цим він гальмує функцію глюкозо-6-фосфатази (наступного ферменту в процесі перетворення глюкози), захищаючи фосфорильовані гексози від подальшого розщеплення. Таким чином, інсулін сприяє підвищенню кількості глюкозофосфорних ефірів і тим самим затримці і використанню вуглеводів у клітині.

Роботами С.З. Гжицького, М.Ф. Гулого й інших встановлено, що інсулін необхідний також для дії цілого ряду ферментів, які беруть участь в обміні вуглеводів, жирів і білків. Зокрема, він необхідний для активації цитратсинтази - ферменту, що каталізує реакцію конденсації активної оцтової кислоти (Ацетил-КоА) з щавлево-оцтовою кислотою. Ця реакція є початковим етапом циклу трикарбонових кислот - загальної ланки обміну вуглеводів, жирів і білків.

Інсулін ефективно стимулює перехід глюкози з крові до скелетних м'язів і жирової тканини, прискорює біосинтез глікогену

в печінці. Він бере участь у біосинтезі клітинних мембран, а також змінює їх проникність відносно глюкози, стимулює процеси клітинного дихання і їх спряження з фосфорилуванням. У зв'язку з цим стає зрозумілим, що відсутність інсуліну може призвести до порушення багатьох найважливіших реакцій, що відбуваються в організмі.

За умови дефіциту або відсутності в організмі інсуліну, насамперед, слабо використовується глюкоза. У результаті цього підвищується її рівень у крові (гіперглікемія) і збільшується виділення із сечею (глюкозурія). Ці явища є симптомами, що супроводжують хворобу під назвою "цукровий діабет".

Завдяки широкому діапазону дії, інсулін застосовується для лікування різноманітних захворювань. Насамперед, він використовується як основний засіб лікування цукрового діабету. Його застосовують при різних формах виснаження організму для стимуляції обміну речовин (для біосинтезу білків, глікогену і жирів), а також для посилення репаративних процесів після опіків і травм.

За своєю хімічною природою інсулін - білок. Він утворюється з проінсуліну, що синтезується  $\beta$ -клітинами підшлункової залози.

Інсулін є одним із перших гормонів білкової природи, для якого добре вивчена первинна структура його ланцюгів і зроблено штучний синтез.

**Глюкагон** за своєю біологічною дією протилежний інсуліну. Глюкагон посилює розщеплення глікогену в печінці і тим самим сприяє поповненню глюкози в крові. Таким чином, разом з інсуліном він утворює єдину систему

регуляції вмісту глюкози в організмі. Тому підвищений вміст глюкози в крові може бути наслідком незбалансованості цієї системи. Підвищений вміст глюкози в крові, що спостерігається при цукровому діабеті, може бути викликаний не тільки нестачею інсуліну, але і посиленою дією глюкагону.

Необхідно відзначити, що за своєю дією глюкагон подібний до адреналіну, проте на відміну від останнього розщеплює глікоген тільки в печінці.

За хімічною природою глюкагон є поліпептидом, що складається з 29 залишків амінокислот.

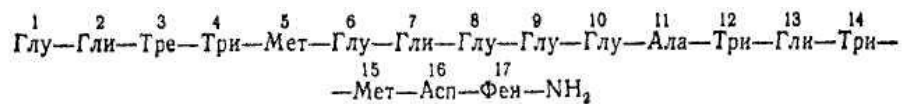
Ліпокаїн стимулює окиснення жирів, жирних кислот і їх надходження з печінки до тканин, запобігає і усуває жирову інфільтрацію печінки, сприяє біосинтезу фосфоліпідів.

Препарати цього гормону застосовуються при лікуванні цукрового діабету, жирової дистрофії і цирозу печінки, атеросклерозу і т.д.

**Ваготонін** одержано з екстрактів підшлункової залози нещодавно і ще недостатньо вивчено. Припускають, що ваготонін стимулює процеси кровотворення, затримує розщеплення глікогену до глюкози, викликаючи тим самим зменшення кількості цукру в крові. Передбачається також, що цей гормон має білкову природу.

### ІНШІ ГОРМОНИ БІЛКОВОЇ ПРИРОДИ

**Гастрин** утворюється в слизовій оболонці шлунка. Цей гормон стимулює секрецію хлороводневої кислоти, пепсину, впливає на секрецію панкреатичного соку і тонус травного каналу. Існує два види гастрину: гастрин I і гастрин II. За своєю фізіологічною дією вони практично ідентичні. Гастрин I - поліпептид, що складається з 17 амінокислот:



На відміну від гастрину I структура гастрину II відрізняється тим, що його молекула містить ще залишок сульфатної кислоти і називається гастринсульфат. Механізм дії цього гормону майже не вивчений.

**Паратирин (паратгормон)** є одним з основних регуляторів обміну кальцієм і фосфору. Він виробляється навколощитовидними залозами, підвищує вміст кальцію і знижує вміст фосфору в крові.

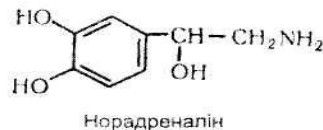
Місцем дії паратирину є скелет і нирки. У кістках він викликає різку активацію резорбтивних процесів, які посилюють деструкцію мінеральних і органічних компонентів цієї тканини, від чого підвищується вміст кальцію в крові. У нирках паратирин зменшує реабсорбцію фосфатів, що призводить до зниження їх рівня в крові.

Паратирин діє в клітинах кісткової тканини і нирок шляхом активації аденілатциклази, стимулюючи утворення цАМФ усередині клітин, які чутливі до цього гормону.

Хімічна природа й особливості будови паратирину повністю ще не визначені.

### ГОРМОНИ - ПОХІДНІ АМІНОКИСЛОТ

**Адреналін і норадреналін** синтезуються в клітинах мозкової речовини наднирників і симпатичних відділів нервової системи. Джерелом біосинтезу цих гормонів є амінокислота тирозин:



Згідно з формулами, адреналін і норадреналін є похідними діоксibenзолу - катехолу, або пірокатехіну, тому ці гормони називають ще **катехоламінами**.

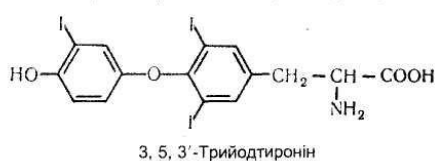
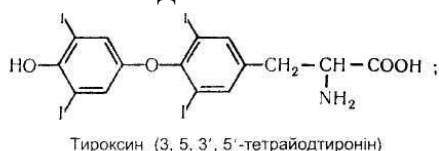
Обидва гормони виконують функції медіаторів нервового збудження. Підвищене виділення гормонів в організмі викликає гіперглікемію і глюкозурію. На відміну від глюкагону, який прискорює розщеплення глікогену тільки в печінці, адреналін сприяє розщепленню його як у печінці, так і в м'язовій тканині. Механізм дії адреналіну пов'язаний зі зміною активності фос-форилази - ферменту, що розщеплює глікоген до глюкозофосфату. Як і ряд інших гормонів, адреналін током крові доставляється до своїх клітин-мішеней і взаємодіє з рецепторами, розміщеними на їх поверхні. Рецептори, взаємодіючи з аденілатциклазою, сприяють утворенню цАМФ, який і є посередником, що здійснює подальший вплив на активність фосфорилази. Остання викликає фосфороліз глікогену, перетворюючи його в глюкозо-1-фосфат - проміжний продукт окиснення глюкози.

Обидва гормони збільшують швидкість розщеплення білків у тканинах і виділення азотистих продуктів обміну із сечею.

При введенні в організм адреналіну (навіть у дозах 0,0001-0,00001 г на 1 кг живої маси) підвищується кров'яний тиск, частішає і посилюється серцебиття, сповільнюється перистальтика кишок, підвищується температура тіла і збільшується споживання тканинами кисню. На відміну від адреналіну, норадреналін не збільшує частоти пульсу і не посилює споживання кисню тканинами.

Захворювання наднирників іноді викликає гіперфункція мозкової речовини, що супроводжується підвищеною продукцією гормонів. Вміст їх у крові збільшується, у результаті чого посилюються реакції обміну, з'являються гіпертонія (із тахікардією), глюкозурія, гіперглікемія, розвивається атеросклероз, нефрит, пригнічується діяльність кори надниркових залоз. У таких випадках може настати смерть.

**Тироксин і трийодтиронін** - гормони щитовидної залози, впливають на окисно-відновні ферменти мітохондрій, регулюючи тим самим процеси тканинного дихання.



За своєю хімічною будовою обидва гормони являють собою йодовані форми похідного тирозину:

Вановлено, що трийодтиронін має більшу гормональну активність, ніж тироксин, у зв'язку з чим передбачається, що, можливо, саме він є основним гормоном щитовидної залози.

Потрапляючи в кров, ці гормони досягають клітин, де впливають на мітохондрії, в яких зосереджені окисно-відновні ферменти тканинного дихання. Деформуючи мембрану мітохондрій, вони тим самим регулюють процеси складних взаємозалежних окиснювальних процесів, зокрема, окиснювальне фосфорилування.

Як відомо на цей час, тироксин стимулює синтез великої кількості ферментів, підвищує активність ферменту, що каталізує реакцію окиснювального дезамінування глютамінової кислоти -глютаматдегідрогеназу, активізує обмін нуклеїнових кислот, білків, ліпідів, мінеральних речовин, прискорює процеси росту і розвитку організму. Тироксин і трийодтиронін підвищують активність гексокінази - першого ферменту при окисненні глюкози, а також забезпечують адаптацію організму до низьких температур, роз'єднуючи реакції клітинного дихання й окиснювального фосфорилування, у результаті чого зменшується утворення АТФ і виділяється більше тепла.

За умови гіперфункції щитовидної залози і посиленої продукції гормонів в організмі інтенсифікуються окиснювальні процеси, роз'єднується окиснювальне фосфорилування, у результаті чого підвищується температура організму, спостерігається підвищена збуджуваність і втрата маси тіла. Це відбувається внаслідок того, що надлишок тироксину порушує окиснювальне фосфорилування в мітохондріях, окиснення не супроводжується синтезом макроергічних зв'язків і здійснюється "вхолосту", незважаючи на інтенсивний загальний обмін. Посилення окиснювальних процесів супроводжується розщепленням тканинних білків, жирів і вуглеводів, що призводить до виснаження організму і розвитку базедової хвороби.

За нестачі в їжі йоду спостерігається збільшення розмірів щитовидної залози з утворенням так званого зоба, звідки назва хвороби "зобна". Зобна хвороба виникає в людей, що живуть у гірських районах, де в питній воді міститься недостатня кількість йоду. У зв'язку з цим хвороба називається також "ендемичним зобом". Для лікування ендемічного зоба у питну воду і їжу додають сіль йоду.

Переродження щитовидної залози призводить до зниження продукції гормонів, що викликає послаблення основного обміну, ожиріння і передчасне старіння.

У 1963 р. у тканинах щитовидної залози був відкритий ще один гормон - кальцитонін, або тиреокальцитонін. Механізм його біологічної дії досліджено ще недостатньо. Відомо, що гормон сприяє переходу кальцію з крові в кісткову тканину. Він активізує діяльність ферменту лужної фосфатази і посилює виділення фосфатів із сечею, підтримуючи таким чином постійний рівень у крові не тільки кальцію, але й фосфору.

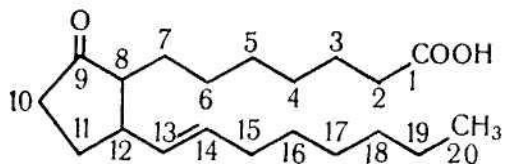
### **ГОРМОНИ - ПОХІДНІ ЖИРНИХ КИСЛОТ**

**Простагландини** були вперше виявлені в сім'яній рідині простати. Проте, як стало відомо, у невеликих кількостях вони містяться в багатьох органах і тканинах.

За своєю біологічною дією простагландини можна віднести до клітинних гормонів. Вони впливають на активність аденілат-циклази, яка регулює в клітинах вміст цАМФ - посередника між гормонами і ферментами.

Простагландини звичайно утворюються з поліненасичених жирних кислот, з лінійним ланцюгом із 20 атомів вуглецю. Попередниками їх виступають ненасичені жирні кислоти: ліно-лева, ліноленова, арахідонова й ін. Під впливом спеціалізованої ферментної системи в мікросомах клітин відбувається окиснювальна циклізація вуглецевого ланцюга з утворенням циклопен-танового або циклопентенового кільця в середині ланцюга жирної кислоти:





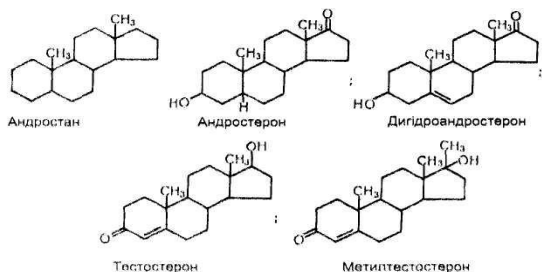
Простагландини поділяють на декілька груп, що позначаються літерами А, В, С, D і т.д. Усередині кожної групи окремі представники різняться між собою кількістю подвійних зв'язків у бічних ланцюгах.

На відміну від інших гормонів біосинтез простагландинів не має чіткої локалізації; вони утворюються в різних органах і тканинах і мають короточасну біологічну дію. Простагландини служать модуляторами гормональної активності. Різні представники цієї групи сполук стимулюють скорочення гладких м'язів, знижують кров'яний тиск і пригнічують активність таких гормонів, як вазопресин,

### **ГОРМОНИ - ПОХІДНІ ХОЛЕСТЕРИНУ, АБО СТЕРОЇДНІ ГОРМОНИ**

До стероїдних гормонів належать гормони статевих залоз і кори надниркових залоз.

**Гормони чоловічих статевих залоз.** Чоловічі статеві гормони, або андрогени, синтезуються в основному в сім'яниках, деяка частина - в яєчниках і корі надниркових залоз. Всі андрогени є похідними циклічного вуглеводню циклопентанпергідрофенантрону, точніше його метильованого похідного - андростану. З андростану утворюються чоловічі статеві гормони андростерон, дегідроандростерон, тестостерон і їх штучний аналог - метилтестостерон:



Біосинтез цих гормонів регулюється гормонами передньої долі гіпофізу – фолітропіном і лютропіном.

Діяльність чоловічих статевих гормонів спрямована на розвиток і прояв вторинних статей їх ознак. Секреція їх відбувається безупинно. Будучи стероїдними гормонами,

вони дуже легко проникають через мембрани клітин-мішеней і зв'язуються зі специфічними білками, створюючи гормон-білкові комплекси. Останні проникають в ядро, де здійснюють свій вплив на біосинтез ДНК і РНК, а потім на клітинний синтез білку.

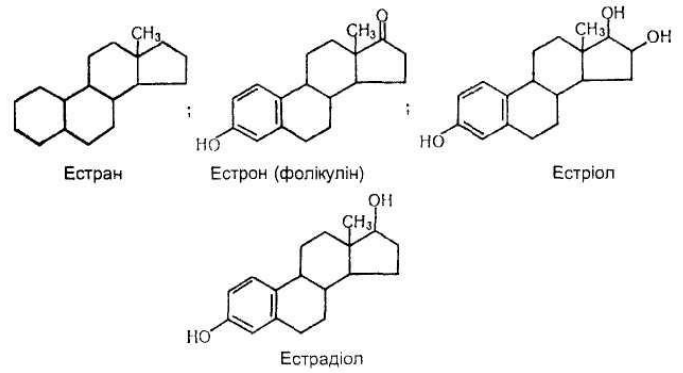
Андрогени впливають на різноманітні види обміну, стимулюють біосинтез білку в м'язовій тканині, сприяють накопиченню в організмі азоту, фосфору, калію, натрію, хлору.

Якщо продукції андрогенів недостатньо, відбувається переорієнтування обміну речовин на відкладення надлишкової кількості жиру.

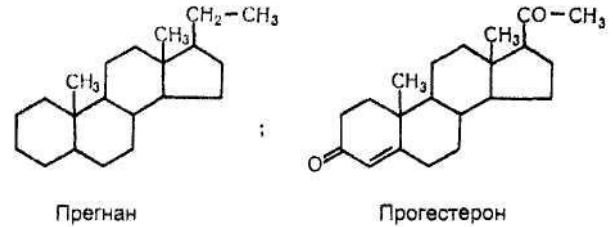
**Гормони жіночих статевих залоз.** Жіночі статеві гормони впливають на розвиток органів дітородіння і стимулюють їх нормальну функцію. Вони здійснюють також вплив на формування вторинних статевих ознак жіночого організму — характерна будова тіла, особливність голосу і волосяний покрив. Синтезуються жіночі статеві гормони в яєчниках, у корі надниркових залоз, а також у плаценті.

Всі жіночі статеві гормони можна поділити на п'ять груп: естрогени, прогестерон, релаксин, андрогени і гормони плаценти. Найбільш важливими з них є естрогени, прогестерон і гормони плаценти.

Естрогени і прогестерон є похідними циклопентанпергідрофенантрону. Естрогени синтезуються у фолікулах яєчника. В основі їх молекул міститься ядро естрану, тому вони називаються естроном, або фолікуліном, естріолом і естрадіолом:



Прогестерон - це гормон жовтого тіла, в основі молекули якого лежить похідне прегнана:



Утворення цих гормонів відбувається циклічно. Спочатку в яєчнику в клітинах фолікулів утворюються естрогени. Після овуляції, тобто після розриву фолікул і виходу яйцеклітини, утворюється жовте тіло, що виробляє прогестерон. За відсутності вагітності жовте тіло розсмоктується. Потім знову у фолікулах синтезуються естрогени, і цикл повторюється. Таке циклічне утворення естрогенів і прогестерону регулюється по черзі гормонами гіпофізу - фолітропіном і лютропіном.

Під час вагітності в жіночому організмі розвивається новий орган, в якому продукуються гормони - плацента. У плаценті синтезується гормон *хоріонгонадотропін*. За своєю хімічною природою він є глікопротеїдом, і його біосинтез відбувається так само, як типовий синтез білку.

Між дією естрогенів і прогестерону існує тісний взаємозв'язок. Естрогени зумовлюють розвиток у жінок вторинних статевих ознак, створюють оптимальні умови для запліднення яйцеклітини, готують матку для імплантації заплідненої яйцеклітини. У період вагітності на місці фолікула, який лопнув, розвивається жовте тіло, що виробляє прогестерон. Цей гормон стимулює подальший розвиток маткових залоз і виділення ними секрету, який є поживною і захисною речовиною для яйцеклітини, що розвивається. Під час вагітності прогестерон сприяє розвитку молочних залоз, уповільнює синтез лютропіну і цим попереджує овуляцію нових фолікулів.

Хоріонгонадотропін сприяє нормальному перебігу вагітності.

Крім репродуктивних функцій, статеві гормони стимулюють процеси тканинного дихання, регулюють фосфорно-кальцієвий і жировий обмін. Вони активують ряд ферментів циклу трикар-бонових кислот. У чоловіків андрогени посилюють утворення білків у скелетних м'язах, зумовлюючи тим самим міцність і масу м'язової і кісткової систем. У жінок естрогени посилюють переважно процеси біосинтезу білків у матці.

За останні роки одержано ряд даних, які свідчать про те, що андрогени та естрогени активізують біосинтез інформаційної, транспортної і рибосомної РНК і посилюють синтез білків.

## ГОРМОНИ КОРИ НАДНИРКОВИХ ЗАЛОЗ

Відкриття гормонів кори надниркових залоз пов'язано із з'ясуванням причин бронзової хвороби, що виникла в результаті переродження клітин цього органа. На цей час відомо шість гормонів кори надниркових залоз, але найбільш важливими з них є гідрокортизон, кортикостерон і альдостерон -гормони стероїдної природи (кортикостероїди):



Під впливом кортикостерону і гідрокортизону збільшується розпад білків і уповільнюється їх синтез, через що зменшується маса тіла. Виявлено також, що ці гормони знижують активність ферменту гексокінази і тим самим гальмують фосфорилування цукрів, у результаті чого зменшується їх окиснення і використання для біосинтезу полісахаридів. Одночасно кортикостерон і гідрокортизон активують ферменти, які розщеплюють фосфорні ефіри сахарів на вільні сахари і фосфатну кислоту. Завдяки цьому в клітинах печінки і м'язів накопичується глюкоза, збільшується вихід її в кров, звідки вона надходить у мозок, нирки й інші органи, де використовується.

Кортикостероїди є регуляторами процесів, при яких відбувається перехід вуглеводів і білків у жири: вони послаблюють де-карбоксилювання пірвіноградної кислоти і перетворення її в ацетил-КоА - проміжний продукт, який зв'язує обмін вуглеводів, білків і жирів.

Дія кортикостероїдів спрямована не тільки на розщеплення вуглеводів, але і на процеси їх біосинтезу. Зокрема, вони стимулюють утворення глікогену в печінці і м'язах. Вони активують також ряд ферментів білкового обміну, наприклад, аспартат- і аланінамінотрансфераз, сприяючи тим самим перетворенню амінокислот у кетокислоти і навіть у вуглеводи. Установлено також, що вони стимулюють і біосинтез сечовини, активуючи весь комплекс ферментів, що каталізують цей процес.

Альдостерон впливає на водно-сольовий обмін. Він сприяє затримці в тканинах натрію і хлору, створюючи тим самим умови для утримання організмом води. За нестачі цього гормону вміст натрію і хлору в тканинах знижується, у результаті чого падає осмотичний тиск і настає зневоднення організму.

Таким чином, гормони як важливі регулятори різноманітних процесів обміну речовин впливають на формування особливостей будови і функцій організму. Оскільки універсальними регуляторами хімічних процесів у всіх живих організмів є ферменти, то регуляторна дія гормонів на обмін речовин здійснюється впливом їх на ферментативні процеси.

### ПИТАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ:

1. Які причини уособлення гормонів в процесі еволюції живої матерії вам відомі?
2. Охарактеризуйте найважливіші з відомих вам гормонів.

## ТЕМА 9. РЕГУЛЯЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

### ПЛАН:

1. Рівні регуляції життєвих процесів у живій природі.

Вимоги до знань та вмінь студентів

По завершенні вивчення теми студенти повинні знати:

- рівні регуляції життєвих процесів у живій природі;
- регуляцію ферментативних процесів за рахунок зміни активності ферментів.

1. Обробка інформації, що надходить до живого організму, здійснюється керуючими системами, або системою регуляції. Вона складається з окремих структурних елементів, сполучених між собою інформаційними каналами. Керуючий пристрій (наприклад, центральна нервова система) отримує інформацію про діяльність системи, здійснює її первинну обробку згідно з закладеною програмою оптимізації функцій (природженою або набутою в результаті життєвого досвіду), і відправляє керуючі сигнали до органів і систем, що виконують розпорядження. Вхідні канали зв'язку (нерви, рідини внутрішнього середовища) передають нервові імпульси або інформаційні молекули речовин, які сигналізують про стан внутрішнього середовища та параметри функцій, в керуючий пристрій, а вихідні канали зв'язку – від керуючого пристрою до органів-виконавців. Датчики (сенсорні рецептори) сприймають інформацію із внутрішнього або зовнішнього середовища на вході системи. Сигнали, які йдуть по вихідним каналам зв'язку з керуючого пристрою до органів та систем, щоб змінити функції, сприймаються клітинними рецепторами. Частина керуючого пристрою, що запам'ятовує та зберігає інформацію, називають апаратом пам'яті. Характер переробки сигналів залежить від тієї інформації, яка записана в апараті пам'яті керуючого пристрою системи регуляції.

Система регуляції фізіологічних функцій організму являє собою ієрархічну структуру трьох рівнів.

Перший складається із відносно автономних систем, які підтримують фізіологічні константи, задані власними метаболічними потребами. Так підтримується, зокрема, осмотичний тиск крові, вентиляційно-перфузійні стосунки в легенях, тканинний кровотік. Для реалізації механізмів цього рівня не обов'язкові сигнали з керуючого пристрою центральної нервової системи, вони забезпечуються місцевими реакціями метаболічної природи і тому носять назву „місцева саморегуляція”.

Другий рівень системи регуляції здійснює пристосувальні реакції в зв'язку зі змінами внутрішнього середовища. Цей рівень може бути представлений нижчими поверхами центральної нервової системи (спинний, довгастий мозок) або окремими ендокринними залозами (прищитовидні залози синтезують гормон паратирин за умови зниження вмісту кальцію у крові,  $\beta$ -клітини острівців Лангерганса підшлункової залози синтезують гормон інсулін, коли рівень цукру в крові підвищується тощо). На цьому рівні задається величина фізіологічних параметрів, які надалі будуть підтримуватися системами першого рівня. Тут підбирається оптимальний режим роботи фізіологічних систем для адаптації організму до змінних умов зовнішнього середовища. Наприклад, виконання фізичної роботи чи навіть підготовка до неї вимагає посиленого насичення

скелетних м'язів киснем, що забезпечується прискореною вентиляцією легень внаслідок поглибленого дихання, надходження в кров'яне русло депонованих еритроцитів, підвищенням артеріального тиску.

Третій рівень системи регуляції представлений, як правило, утвореннями головного мозку (гіпоталамус, лімбічна система, кора великих півкуль). Він забезпечує вироблення критеріїв оцінки стану внутрішнього і зовнішнього середовища, налаштування режимів роботи першого і другого рівнів, що гарантує, як наслідок, зміну вегетативних функцій і поведінки організму з метою оптимізації його життєдіяльності.

Розрізняють нервові і гуморальні механізми регуляції життєдіяльності організму. Перші використовуються для передачі і обробки інформації структури нервової системи (нейрони, нервові волокна) та імпульси електричних потенціалів, другі – рідини внутрішнього середовища та молекули хімічних сполук.

Нервова регуляція здійснює швидко і напрямлену передачу сигналів, котрі у вигляді нервових імпульсів по нервових волокнах надходять до об'єктів регуляції. Швидка передача сигналів (до 80 – 120 м/с) без затухання і втрати енергії обумовлена властивостями структур, що проводять нервові імпульси, переважно станом їх мембран.

Гуморальна регуляція – це спосіб передачі інформації до ефекторів через рідини внутрішнього середовища організму за допомогою молекул хімічних сполук, які виділяються клітинами або спеціалізованими для регуляції ендокринними залозами.

Цей вид регуляції життєдіяльності здійснюється на двох рівнях:

- забезпечуючи відносно автономний міжклітинний обмін інформацією про особливості метаболізму та функції клітин і тканин;
- являючи собою еферентний канал інформаційного зв'язку, який перебуває в більшій чи меншій залежності від нервових процесів сприйняття і обробки інформації про стан внутрішнього та зовнішнього середовища.

Відповідно гуморальну регуляцію ділять на місцеву клітинно-тканинну та систему гормональної регуляції, яка забезпечує генералізовані ефекти в організмі за допомогою гормонів.

Місцева гуморальна регуляція (тканинна саморегуляція) практично не керується нервовою системою, в той час як система гормональної регуляції складає частину єдиної нейрогуморальної системи.

Поділ механізмів регуляції процесів життєдіяльності організму на нервові та гуморальні умовний. Вони нероздільно пов'язані в організмі і представляють собою єдину нейрогуморальну систему регуляції.

#### ПИТАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ:

1. Що таке нервова регуляція?
2. Що називають гуморальною регуляцією?
3. Як вони співвідносяться?
4. Як виникла гормональна регуляція в процесі еволюції?
5. Які причини уособлення гормонів вам відомі?