

Лекція 5. Хімічні сполуки в живих організмах

План

1. Вода і неорганічні сполуки.
2. Хімія білків.
3. Ферменти.
4. Хімія вуглеводів.
5. Хімія ліпідів.
6. Нуклеїнові кислоти.
7. Вітаміни.
8. Гормони.

1. Вода та неорганічні сполуки. Водний і мінеральний обмін

Вода – життєдайна і животворна рідина. "У тебе немає ні смаку, ні кольору, ані запаху, тебе неможливо описати, тобою насолоджуються, не знаючи, що ти таке. Не можна сказати, що ти необхідна для життя: ти – саме життя. Ти наповнюєш нас радістю, яку не пояснити нашими почуттями. З тобою повертаються до нас сили, з якими ми вже розпрощались. З твоєї милості у нас знову починають виривати висохлі джерела нашого серця. Ти найбільше багатство на світі..." Ці чудові рядки належать видатному французькому письменнику-гуманісту і військовому льотчику Антуану де Сент-Екзюпері.

Наскільки важлива вода для людського організму видно вже з того, що в тілі дорослої людини води приблизно 65% від маси тіла, а в дітей — до 80% і більше, залежно від віку. В організмі новонародженої дитини води 84%. У різних органах і тканинах вміст води не однаковий: в кістках дорослої людини 22%, у м'язах — 76%, у сірій речовині мозку — 86%, у плазмі крові – 92%. Без їжі, але при вживанні води людина може жити до 40-50 днів, а без води помре за кілька днів.

Вода є одним із структурних компонентів тіла, середовищем, в якому відбуваються процеси обміну речовин у клітинах, органах і тканинах організму. Вода бере участь у регулюванні температури тіла: випаровуючись, вода охолоджує тіло, охороняючи його від перегрівання. Вода є універсальним розчинником багатьох речовин.

Людині потрібно на добу 2-2,5 л води за нормального харчового режиму та нормальної температури довкілля. Ця кількість води складається із таких джерел: питної води (близько 1,2 л), води, яка міститься в їжі (близько 1 л), води яка утворюється в організмі під час обміну білків, жирів, вуглеводів (0,3 л). У нормі організм за добу має виділити стільки води, скільки одержав, тобто 2,5 л. Основні органи, які виділяють воду із організму – нирки, потові залози, легені і кишечник. Нирки за добу виділяють із організму 1,2-1,5 л води у складі сечі. Потові залози через шкіру у вигляді поту виділяють 0,5-0,7 л води за добу. Легенями у вигляді водяної пари виводиться 0,15-0,4 л води. Ця кількість різко зростає під час поглибленого і прискореного дихання, за добу тоді може виділитися 0,7-0,8 л води. Через кишечник з каловими масами виводиться за добу 0,15 л води. При розладі діяльності кишечника може виділятися більша кількість води (при проносі), що призводить до зневоднення організму. Якщо виникає зневоднення організму, різко уповільнюються всі фізіологічні процеси, зокрема травлення та всмоктування, ферментативні реакції у мітохондріях; погіршується газообмін у легенях, теплообмін. Загуста кров погано виконує свою трофічну функцію; крім того, в судинах можуть виникнути тромби. При втраті організмом усього 2% води виникає спрага, втрата 10-20% води небезпечна для життя, а 20-25% – смертельна.

Вода в організмі перебуває у вигляді сольових розчинів. Розрізняють внутрішньоклітинну (входить до складу цитоплазми клітин) і позаклітинну (входить до складу тканинної рідини та плазми крові) воду. Електролітний склад позаклітинної і внутрішньоклітинної рідини різний. У внутрішньоклітинній рідині містяться переважно катіони

калію і молекули білка та аніони фосфорної кислоти. У позаклітинній рідині переважають катіони натрію, аніони хлору і гідрокарбонату.

Неорганічні речовини підтримують необхідний осмотичний тиск, беруть участь у ферментативних реакціях і в регуляції кислотно-лужної рівноваги організму. Найбільше фізіологічне значення мають іони натрію, калію, кальцію, фосфору, хлору, феруму, магнію, купруму, йоду, сульфору, цинку, бромю тощо.

У живому організмі кожний хімічний елемент виконує відповідну фізіологічну роль, і один одного вони не замінюють.

Натрій забезпечує сталість осмотичного тиску позаклітинної рідини, бере участь у регулюванні кислотно-лужної рівноваги, проведенні імпульсів у нервовій системі тощо. Природне джерело натрію — хлорид натрію, або кухонна сіль. Добова потреба школярів – 4-5 г солі, а дорослих – 6 г.

Калій, що міститься переважно в клітинах, забезпечує осмотичний тиск внутрішньоклітинної рідини, стимулює утворення ацетилхоліну (медіатора нервової системи), бере участь в обмінних процесах. Без цього елемента не може функціонувати нервова система, працювати скелетні або непосмуговані м'язи, серцевий м'яз. Калію багато у картоплі, абрикосах, сливах. Добова потреба школярів у калії – 2-3 г.

Кальцій входить до складу молекул різних тканин організму. Кістки та зуби складаються переважно з його солей. Тому дитячому організму, що постійно росте, людині, що зламала кістку, треба значно більше кальцію. Він бере участь у процесах нервового і м'язового збудження, зсіданні крові. Природним джерелом кальцію є різні молочні продукти, курячі яйця, капуста, м'ясо, риба, щавель, петрушка, помідори. Засвоєнню його організмом сприяє вітамін D. Обмін кальцію регулює щитоподібна та паращитоподібні залози. Добова потреба школярів у кальції – 1 г.

Магній входить до складу ферментних систем організму, бере участь у процесах вуглеводного та фосфорного обміну. Магній міститься майже в усіх харчових продуктах рослинного походження, особливо у злакових. Багато його у щавлі, петрушці, ізюмі, абрикосах, а також свинині, телятині, курятині, молочних продуктах. Добова потреба магнію становить приблизно 300 мг і зазвичай повністю задовольняється за рахунок продуктів харчування. Ознаки нестачі магнію: раптові запаморочення, втрата рівноваги; туман, мерехтливі цятки перед очима; здерев'яніння кінцівок, поколювання в ногах, спазми; випадання волосся, ламкість нігтів, карієс зубів; швидка стомлюваність, частий головний біль, труднощі з концентрацією уваги; чутливість до змін погоди, до холоду, вологості, що спричиняє біль зубів, ясен, суглобів, м'язів; безсоння, страхітливі сні, нічне пітіння; напади туги, сльозливість, плаксивість; бажання робити одночасно багато справ, які починаєте й не закінчуєте; гострий спазматичний біль у шлунку.

Фосфор також входить до складу кісток і його засвоєння також залежить від наявності вітаміну D. Фосфору багато в енерговмісній сполуці — АТФ, що утворюється в мітохондріях при розкладанні вуглеводів та жирів. Цей елемент дуже потрібен клітинам, бо входить до складу їхніх мембран. Багато фосфору потребують клітини головного мозку – нейрони, особливо при напруженій розумовій праці. Без фосфору не синтезується ДНК, яка є в ядрі кожної клітини. Джерелом фосфору для організму людини є молоко та молочні продукти, риба, м'ясо, яйця, боби, горох. Обмін фосфору регулює щитоподібна та паращитоподібні залози. Навіть незначна нестача фосфору в організмі може призвести до остеопорозу кісткових тканин, помітного зниження інтелектуальних даних і загальної працездатності. Це проявляється у погіршенні короткочасної пам'яті, частих проявах слабкості, сонливості й головному болю. У людини з дефіцитом фосфору може зникнути інтерес до життя, до нових знань.

Хлор входить до складу соляної кислоти шлункового соку. Необхіден для підтримання електродного балансу.

Ферум потрібен для кровотворення (до 70% всього заліза в організмі міститься в крові). Гемоглобін еритроцитів вміщує атоми феруму (заліза). Добова потреба людини у ферумі дорівнює 15-20 мг. Природним джерелом феруму є печінка, яйця, яблука, абрикоси, зелень

петрушки. За нестачі спостерігаються такі симптоми: зниження рівня гемоглобіну і розвиток залізодефіцитної анемії — недокрів'я, сухість шкіри, втома, підвищена чутливість до холоду, ламкість нігтів, погіршення мозкової активності, травні розлади, запаморочення, депресії, випадання і посивіння волосся, запальний процес у порожнині рота, нервові розлади, ожиріння, зниження функції щитоподібної залози.

Купрум також потрібен для кровотворення, бере участь в обміні речовин, у процесах тканинного дихання. Купрум стимулює продукування гормонів гіпофізом. Найбільше купруму у фруктах, ягодах, соняшниковому насінні, бобових, овочах (особливо в картоплі, сухих яблуках і грушах). Нестача міді у людини викликає часткове випадання волосся на голові, висип на тілі, стомлення, підвищується холестерин, людина особливо схильна до інфекцій, депресій, остеопорозу, артритів, артрозу, ревматизму. Добова потреба в міді для дорослих складає близько 2 мг.

Кобальт бере участь у кровотворенні, потрібен для утворення вітаміну В₁₂ ціанокобаламіну.

Манган (марганець) необхідний для утворення аскорбінової кислоти. Манган входить до складу ферментативних систем і бере участь в окислювально-відновних процесах. Манган міститься в бобових і злакових рослинах, у салаті, петрушці, яблуках, сливах, насінні дикої моркви. При нестачі марганцю порушуються процеси окостеніння у всьому кістяку, трубчасті кістки товщають і коротшають, суглоби деформуються. Порушується репродуктивна функція яєчників і яєчок. Добова потреба для дитячого організму 0,2-0,3 мг марганцю на 1 кг ваги тіла, для дорослого - 0,1 мг.

У стимуляції діяльності кровотворних органів велику роль відіграє **хром**, на який багаті хрін, черемха звичайна, листки чорниці, ягоди шовковиці. Встановлено, що нестача хрому в організмі призводить до виникнення цукрового діабету.

Йод входить до складу гормону щитоподібної залози – тироксину, що регулює обмін речовин в організмі. За його нестачі у питній воді або продуктах харчування виникає захворювання – ендемічний зоб. Йод міститься в морських водоростях (морській капусті), риб'ячому жирі, зернових та овочах (найбільше – в картоплі), фруктах, молоці, яйцях. Добова потреба 2-4 мкг на 1 кг маси тіла (в середньому).

Аргентум, що міститься у зелених огірках, динях, кавунах, гарбузах, м'яті, мелісі діє на організм як антисептик. Регуляції окисно-відновних процесів у паренхіматозних органах і м'язовій системі сприяє мікроелемент ванадій. Цирконій, на який багаті помідори, стимулює ріст і розвиток тканин організму.

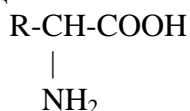
Сульфур та **цинк** необхідні для синтезу гормону підшлункової залози, бром — для синтезу гормону гіпофіза. Цинк зменшує запальні процеси в передміхуровій залозі і, взагалі, в органах статеві системи. Нестача в організмі цинку протягом тривалого часу призводить до несприятливих змін у внутрішніх статевих органах, а в дитячому віці зумовлює карликовий ріст. Цей мікроелемент запобігає розвитку гіпертонічної хвороби, цукрового діабету, захворюванню на наркоманію та алкоголізм. Добова потреба в цинку 10-20 мг.

Мінеральні речовини людина одержує з їжею й водою. Виводяться вони з організму нирками (з сечею), через шкіру (з потом) і травний канал (з калом).

2. Хімія білків

Білки – біоорганічні високомолекулярні сполуки, молекули яких являють собою гетерополімери, побудовані із залишків амінокислот, об'єднаних кислотоамідними (пептидними) зв'язками (-CO-NH-).

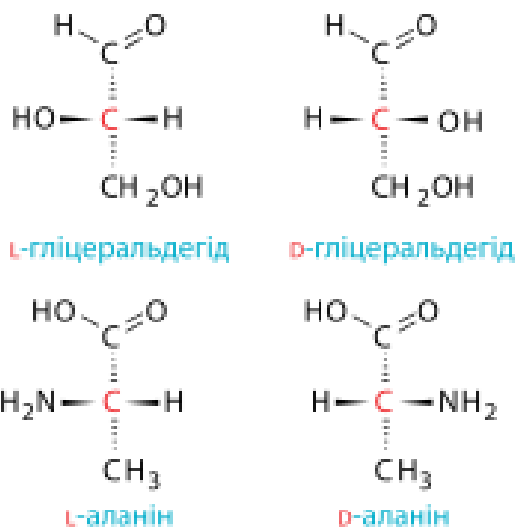
Білки, або протеїни, складаються з L- α -амінокислот, узагальнена формула яких має вигляд:



Наявність в амінокислотах карбоксильної групи (–COOH) та аміногрупи (–NH₂) надає їм як кислотних, так і основних властивостей, тобто амінокислоти проявляють амфотерність.

До складу білків організму людини найчастіше входить 20 L-α-амінокислот, а взагалі відомо більше 200 індивідуальних амінокислот, що одержані як з природної сировини, так і синтетичними методами.

Оптична ізомерія. Всі α-амінокислоти, крім гліцину H₂N-CH₂-COOH, мають асиметричний (хіральний) атом Карбону (α-атом) й можуть існувати у вигляді *оптичних ізомерів* (дзеркальних антиподів). D-амінокислоти повертають поляризоване світло вправо, а L – амінокислоти вліво.

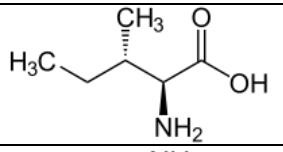
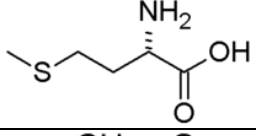
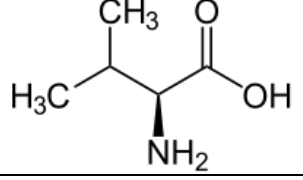
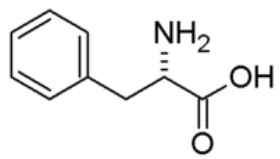
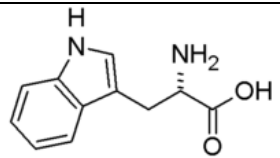
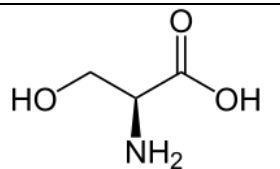
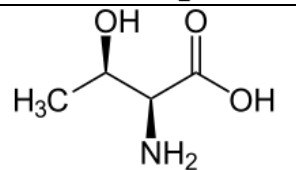
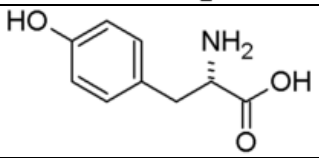
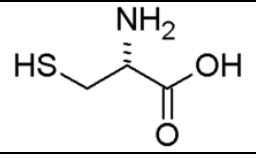
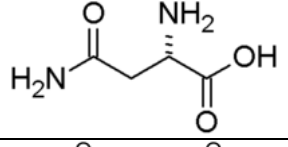
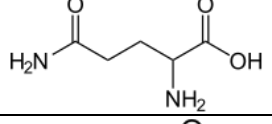
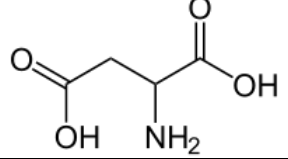


Оптична ізомерія природних α-амінокислот відіграє важливу роль у процесах біосинтезу білка. До складу білків організму людини входять лише α-L-амінокислоти. D-амінокислоти є небілковими компонентами рослин, грибів, мікроорганізмів.

Класифікація основних (або стандартних) L-α-амінокислот наведена у табл. 3.1. Деякі амінокислоти в організмі людини не синтезуються і їх поповнення відбувається лише завдяки надходженню з їжею, тому вони вважаються *незамінними*, це, зокрема: гістидин, ізолейцин, лейцин, лізин, метіонін, фенілаланін, треонін, триптофан, валін і аргінін.

Таблиця 3.1 – стандартні L-α-амінокислоти

№	Група амінокислот	Амінокислоти та їх скорочене позначення	Структурна формула
1	Амінокислоти із неполярними (гідрофобними) бічними ланцюгами (-R)	Гліцин (Gly, G)	
2		Аланін (Ala, A)	
3		Лейцин (Leu, L)	

4	Амінокислоти із полярними незарядженими бічними ланцюгами	Ізолейцин (Ile, I)		
5		Метіонін (Met, M)		
6		Валін (Val, V)		
7		Фенілаланін (Phe, F), ароматична амінокислота		
8		Триптофан (Trp, W), ароматична амінокислота		
9		Серин (Ser, S)		
10		Треонін (Thr, T)		
11		Тирозин (Tyr, Y), ароматична амінокислота		
12		Цистеїн (Cys, C)		
13		Аспарагін (Asn, N)		
14		Глутамін (Gln, Q)		
15		Амінокислоти із негативно зарядженими бічними групами	Аспарагінова кислота (Asp, D)	

16		Глутамінова кислота (Glu, E)	
17	Амінокислоти із позитивно зарядженими бічними групами	Лізін (Lys, K)	
18		Аргінін (Arg, R)	
19		Гістидин (His, H)	
20	Імінокислоти	Пролін (Pro, P)	
		Гідроксипролін (Hyp), нестандартна амінокислота	

Біологічне значення амінокислот

1. Входять до складу білків і пептидів організму, також частина амінокислот знаходиться у вільному стані.
2. З амінокислот в організмі утворюється багато низькомолекулярних біологічно активних речовин (наприклад, гальмівний нейромедіатор ГАМК, біогенні аміни та ін.).
3. Частина гормонів в організмі – похідні амінокислот (гормони щитоподібної залози, адреналін).
4. Попередники азотистих основ, що входять до складу нуклеїнових кислот.
5. Попередники порфіринів, що йдуть на біосинтез гема (для гемоглобіну і міоглобіну).
6. Попередники азотистих основ, що входять до складу складних ліпідів (холіну, етаноламіну).
7. Беруть участь у біосинтезі медіаторів у нервовій системі (ацетилхолін, дофамін, серотонін, норадреналін та ін.).
8. Амінокислоти – найважливіші, а деякі з них життєво необхідні компоненти харчування.

Білки є найбільш поширеними з усіх класів біомолекул, вони входять до складу всіх клітинних компонентів мікроорганізмів, рослин, тварин, людини (ядра, біомембрана, цитоплазми ...) та міжклітинних структур. Функціональні властивості білків зумовлені якісним і кількісним складом амінокислотних залишків, а також їх послідовністю. Вважається, що білковий склад живих клітин ускладнюється пропорційно ступеню складності геному та рівню еволюційного розвитку даного виду організмів. Кількість різних видів білків в прокаріотичній клітині *E. coli* – близько 3 000, в організмі людини приблизно 5 000 000, всього в різних видах організмів, що складають біосферу Землі, нараховується 10^{10} - 10^{12} різних видів білкових молекул.

Біологічні функції білків:

1. Ферментативна (каталітична) функція.

Усі ферменти (ензими, біокаталізатори) за своєю хімічною природою є білками або комплексами білків із низькомолекулярними небілковими сполуками (коферментами, кофакторами).

2. Структурна функція.

Білки входять до структури біомембран, становлять основу цитоскелета (мікротрабекулярна сітка, мікрофіламенти), міжклітинного матриксу (колаген, еластин) та певних спеціалізованих тканин (кератин).

3. Регуляторна функція.

Білкову та пептидну природу мають численні біорегулятори - гормони, медіатори та модулятори, що утворюються в ендокринній системі, нейронах головного мозку, імунній системі: прості білки (інсулін, глюкагон тощо), глікопротеїни (тропні гормони гіпофіза тощо), низькомолекулярні пептиди (окситоцин, вазопресин, опіоїдні пептиди мозку, пептиди тимоцитів тощо).

4. Рецепторна функція.

Білкову природу мають мембранні рецептори для фізіологічно активних сполук, що приймають хімічний сигнал від гормонів, нейромедіаторів (адренорецептори, холінорецептори, гістамінові рецептори тощо).

5. Транспортна функція.

Білки зв'язують та здійснюють міжклітинний та внутрішньоклітинний (трансмембранний, цитоплазматичний) транспорт різних лігандів-біомолекул, іонів металів, чужорідних хімічних сполук (ксенобіотиків). Транспортними білками крові людини є сироваткові альбуміни (переносять жирні кислоти, білірубін, лікарські та токсичні сполуки), гемоглобін еритроцитів (транспортують кисень), ліпопротеїни (транспортують ліпіди), трансферин (транспортують залізо).

6. Скорочувальна функція.

Білки є молекулярними структурами, що реалізують скорочувальну функцію м'язів (актин, міозин), джгутиків та війок (табуліни, динеїти) тощо.

7. Захисна функція.

Білки виконують функцію імунного захисту (імуноглобуліни, лімфокіни, інтерлейкіни тощо), протидіють кровотечі та тромбоемболії (білки згортальної, антикоагулянтної та фібринолітичної системи крові), при отруєнні знешкоджують солі важких металів і алкалоїди. Можна також вважати, що захисну функцію виконують і *білки-токсини*. Токсини поліпептидної або білкової природи утворюють деякі мікроорганізми (токсини ботулізму, дифтерії та ін.), рослини (рицин з насіння кліщевини, абрин з абруса та ін.), тварини (токсини бджолоїної та зміїної отрути, токсини деяких павуків, скорпіонів та ін.) для захисту і нападу у міжвидових взаємодіях.

8. Створення біопотенціалів на мембранах клітин і внутрішніх мембран мітохондрій.

9. Енергетична функція.

1 г білку при окисненні до кінцевих продуктів (сечовини, вуглекислого газу і води) дає 17,2 кДж (або, як позначається інколи в позасистемних одиницях – 4,1 ккал) енергії.

10. Запасаюча функція.

Альбумін в оболонці пташиних яєць, ендосперм насіння злаків, тощо.

11. Генорегуляторна функція.

Білки-гістони, кислі білки та інші беруть участь в регуляції процесів реплікації ДНК, транскрипції, трансляції.

Фізичні та хімічні властивості білків

Молекулярна маса білків. Білки є високомолекулярними сполуками; їх молекулярна маса (М.м.) коливається в межах від декількох тисяч до декількох мільйонів а.о.м. (атомних одиниць маси, міжнародне позначення *u*; 1 а.о.м. = $1,66 \times 10^{-27}$ кг, або 1/12 маси нукліду ^{12}C , часто також використовують іншу одиницю – Дальтон, позначають як Да, або його похідний кДа – кілодальтон; 1 Да = 1 а.о.м.). Більшість білків зазвичай побудовані із декількох сотень амінокислотних залишків.

Білки можуть складатися з одного або декількох окремих поліпептидних ланцюгів, що об'єднані ковалентними (дисульфідними) та нековалентними зв'язками. Білки, в яких є один поліпептидний ланцюг, мають молекулярну масу від 5-6 до 50 кДа; білки з більшою М.м. складаються, як правило, з декількох поліпептидних ланцюгів, що утворюють протомери (субодиниці) – мультиланцюгові (олігомерні) білки (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Молекулярна маса деяких білків

Білок	Молекулярна маса, кДа	Кількість субодиниць (протомерів)
Інсулін	5,7	1
Рибонуклеаза	12,6	1
Пепсин	35,5	1
Алкогольдегідрогеназа	80,0	2
Піруваткіназа	240,0	4
Фенілаланін-тРНК-синтетаза	276,0	4

Форма білкових молекул. Поліпептидні ланцюги, що лежать в основі ковалентної структури білкових молекул, здатні до формування просторово впорядкованих конформацій, які стабілізуються водневими та іншими слабкими фізико-хімічними зв'язками. Ці високовпорядковані конформації створюють певні *рівні структурної організації білків*, що відображаються в різних формах будови білкових молекул.

За формою молекул білки часто поділяються на *глобулярні* – кулеподібні та *фібрилярні* – з витягнутою формою молекул.

Усі білки та пептиди мають унікальну тримірну просторову організацію (конформацію), що є структурною основою їх специфічної біологічної функції. Високовпорядковані конформації білкових молекул створюються на основі поліпептидних ланцюгів, що мають ковалентну структуру, та стабілізуються за рахунок утворення між амінокислотними залишками певних пептидних ділянок слабких фізико-хімічних зв'язків і взаємодій.

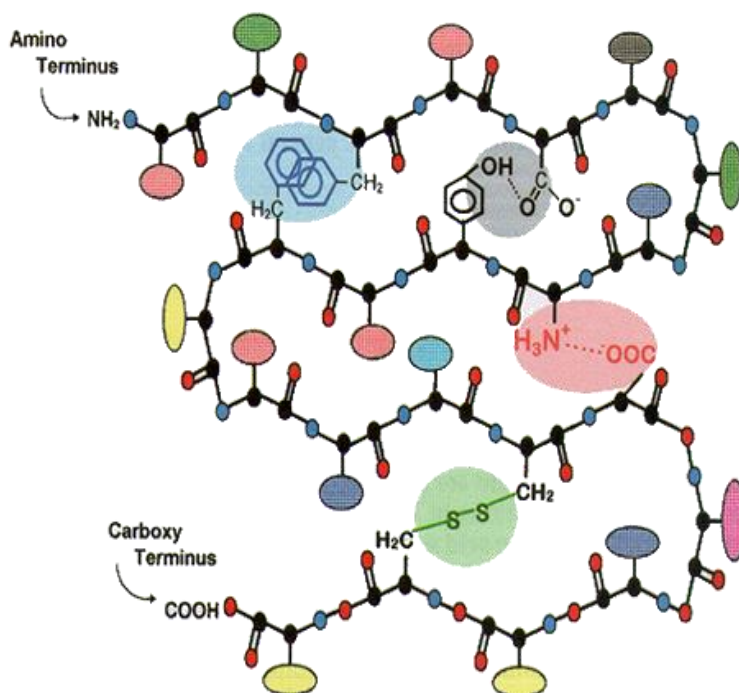
Структури білків.

Первинна – послідовність розміщення α -амінокислот у молекулі, сполучених пептидними зв'язками.

Вторинна – впорядковане розміщення у просторі основного поліпептидного ланцюга у вигляді α -спіралі або β -структури, фіксування структур здійснюється за рахунок водневих зв'язків (β -кератин волосся і рогової тканини, β -кератин шовку, міозин м'язової тканини).

Третинна – компактне тривимірне пакування білкового ланцюга у просторі, у взаємодії беруть участь бічні групи амінокислот (міоглобін м'язів, лізоцим сліз).

Четвертинна – просторове розміщення декількох поліпептидних субодиниць, сполучених за рахунок водневих та гідروفобних взаємодій (гемоглобін).



Вторинна структура молекули білку

Прості білки (протеїни) поділяють на **альбуміни** – добре розчиняються у воді (містяться в молоці, яєчному білку, крові та ін.), **глобуліни** – у воді не розчиняються, але добре розчинні в розведених розчинах солей (глобуліни крові, білок м'язів - міозин та ін.), **глутеліни** – розчиняються тільки в розведених розчинах лугів (зустрічаються в рослинах), **склеропроїєни** – нерозчинні білки (кератин, білок шкіри і сполучних тканин колаген, білок натурального шовку фіброїн та ін.).

Складні білки, крім амінокислот містять й інші хімічні компоненти. Неамінокислотна частина такого білка носить назву **протетичної** групи. Складні білки класифікують в залежності від хімічної будови їх протетичних груп. **Ліпопротеїни** містять ліпіди, **глікопротеїни** – вуглеводи (цукри), **металопроїєни** – той або інший метал (залізо, мідь, цинк та ін.), **нуклеопроїєни** – ДНК або РНК (нуклеопроїєни утворюють гістони, рибосоми, інформосоми, віруси, складають основу спадкової речовини – хроматину, що міститься в ядрах клітин), у **фосфопроїєнів** протетичною групою є ортофосфорна кислота. Зазвичай, протетична група має важливе значення при виконанні молекулою білка її унікальної біологічної функції.

Поглинання в УФ-ділянці спектра. В області далекого (вакуумного) ультрафіолетового світла ($\lambda < 200$ нм) поглинають електромагнітне випромінювання всі амінокислоти, а також пептидні зв'язки. В області $\lambda = 240-300$ нм поглинають лише ароматичні амінокислоти: триптофан ($\lambda = 279,5$ нм), тирозин ($\lambda = 275$ нм), фенілаланін ($\lambda = 257$ нм), слабке поглинання дають також гістидин і цистеїн. При включенні амінокислот в структуру білка їх спектри поглинання змінюються незначно. При спектрофотометрії максимум поглинання білків припадає на $\lambda \approx 280$ нм (для порівняння, у нуклеїнових кислот $\lambda \approx 260$ нм).

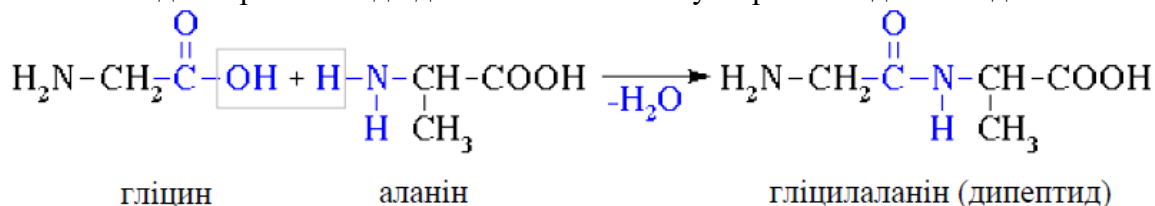
Хімічні методи якісного визначення складу білків.

Зазвичай використовують кольорові реакції на білки, які є якісними на функціональні групи радикалів амінокислот, що входять до складу білків. Ці специфічні реакції часто використовують у лабораторній практиці для ідентифікації та кількісного визначення білків і окремих амінокислот. Існує два типи кольорових реакцій:

- універсальні – біуретова (на всі білки) та нінгідринова (на всі α -амінокислоти);

б) специфічні – тільки на окремі амінокислоти як у молекулах білків, так і в розчинах окремих амінокислот (наприклад, ксантопротеїнова реакція характерна для ароматичних амінокислот, реакція Фоля для амінокислот цистеїну і цистину які містять слабо зв'язану сірку).

Утворення пептидів. Міжмолекулярна взаємодія α -амінокислот приводить до утворення пептидів. При взаємодії двох α -амінокислот утворюється дипептид.



Також зауважимо, що в штучних умовах (поза організмом) 2 різних амінокислоти здатні утворити 4 ізомерних дипептида. Міжмолекулярна реакція за участю трьох α -амінокислот приводить до утворення трипептиду і т.д. Фрагменти молекул амінокислот, які утворюють пептидний ланцюг, називаються амінокислотними залишками, а зв'язок CO–NH називають пептидним зв'язком. Найважливіші природні полімери – білки (протеїни) – відносяться до поліпептидів, тобто є продуктом поліконденсації α -амінокислот.

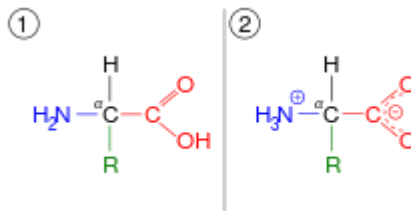
Класифікація пептидів.

Олігопептиди – кількість амінокислотних залишків 2-10, молекулярна маса кілька сотень а.о.м. або Дальтон (Да).

Поліпептиди – кількість амінокислотних залишків 10-100, умовно можна вважати, що в більшості випадків їх молекулярна маса не перевищує 10 кДа.

Справжні *білки* – кількість амінокислотних залишків перевищує 100, молекулярна маса від 10 кДа до кількох мільйонів Да.

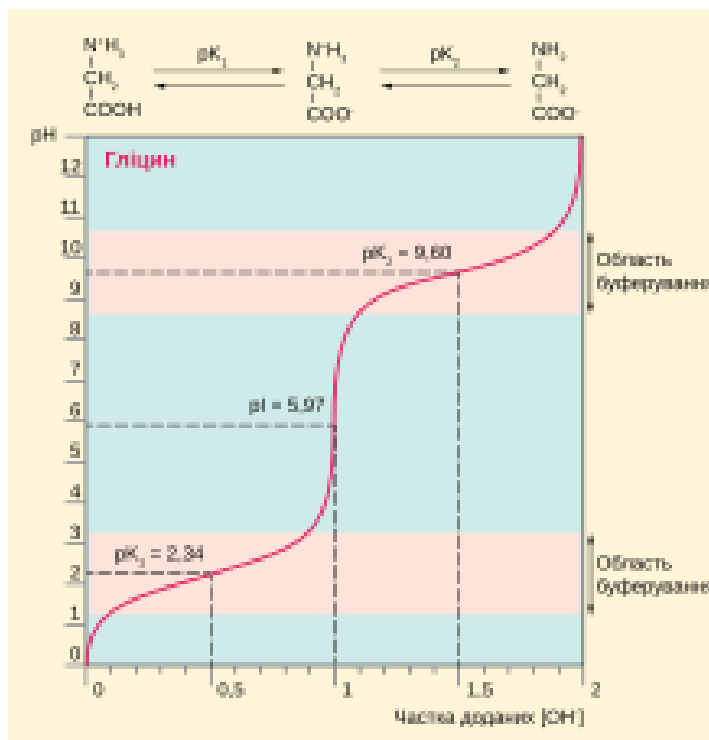
Кислотно-основні властивості амінокислот



Амінокислота у неіонізованій (ліворуч) і цвітеріонній формі (праворуч)

Амінокислоти є амфотерними сполуками або амфолітами (від «амфотерний електроліт»). Вони можуть виступати як кислотами, так і основами завдяки наявності карбоксильної і аміногрупи відповідно. Якщо амінокислоту із бічним ланцюгом, не здатним до іонізації, розчинити у воді, при рН 7,0 вона перебуватиме у формі цвітер-іона (від нім. *Zwitter* – гібридний), тобто нестиме одночасно позитивний і негативний заряди.

Криві титрування амінокислот



Крива титрування 0,1 М розчину гліцину при 25 °С гідроксидом натрію. Один еквівалент $[\text{OH}^-] = 0,1$ моль NaOH.

Кожна амінокислота має принаймні дві групи, здатні до іонізації: α -аміно- та α -карбоксильну. Через це крива титрування повністю протонованої форми амінокислоти сильною основою має дві фази, кожна із яких відповідає депротонуванню однієї із груп. Як приклад наведено титрування 0,1 М розчину гліцину при температурі 25 °С (рисунок зліва). У дуже кислотному середовищі молекули гліцину повністю протоновані ($\text{NH}_3^+\text{-CH}_2\text{-COOH}$), при підвищенні рН карбоксильна група починає іонізуватись, і за значення водневого показника, що дорівнює pK_a цієї групи (pK_1) у розчині наявні еквімолярні концентрації $\text{NH}_3^+\text{-CH}_2\text{-COOH}$ і $\text{NH}_3^+\text{-CH}_2\text{-COO}^-$. У діапазоні рН $pK_1 \pm 1$ гліцин проявляє буферні властивості. Подальше зростання рН призводить до повної дисоціації протонів від карбоксильних груп. У той момент, коли депротонування карбоксильних груп вже майже завершилось, а депротонування аміногруп ще не розпочалось, молекули амінокислоти перебувають у цвітер-іонній формі ($\text{NH}_3^+\text{-CH}_2\text{-COO}^-$). Це значення рН, за якого сумарний заряд максимальної кількості молекул амінокислоти у розчині рівний нулю, називається ізоелектричною точкою і позначається **pI**. У діапазоні рН вище pI відбувається друга фаза титрування амінокислоти: поступове депротонування аміногруп. При рН = pK_2 у розчині будуть еквімолярні концентрації $\text{NH}_3^+\text{-CH}_2\text{-COO}^-$ і $\text{NH}_2\text{-CH}_2\text{-COO}^-$. У ділянці $pK_2 \pm 1$ амінокислота також проявлятиме буферні властивості.

Важливою особливістю амінокислот є те, що їхні карбоксильні групи є «більш кислотними», а аміногрупи «менш основними», ніж ці ж групи в складі сполук, в яких вони приєднані до аліфатичних вуглеводневих залишків. Наприклад, pK_a оцтової кислоти становить 4,8, а pK_1 гліцину – 2,34, pK_a метиламіну – 10,60, а pK_2 гліцину – 9,60. Обидві групи легше віддають протони внаслідок їхнього взаємного впливу одна на одну. Цей вплив значно ослаблюється зі збільшенням відстані між хімічними групами, тому β - і γ - карбоксильні групи аспарагінової й глутамінової кислот мають значення pK_a ближчі до таких в інших карбонових кислот, а саме 3,90 і 4,07 відповідно.

Амінокислоти із зарядженими бічними ланцюгами мають дещо складніші криві титрування, які складаються із трьох фаз, в таких амінокислот, відповідно, є три значення константи кислотної дисоціації.

Ізоелектрична точка

Для амінокислот, що не містять груп, здатних до іонізації у бічних ланцюгах, ізоелектричну точку можна розрахувати як середнє арифметичне між константами кислотної дисоціації карбоксильної та аміногруп:

При рН вище цієї точки більшість молекул амінокислоти в розчині матимуть негативний заряд і в електричному полі рухатимуться до анода, при нижчому – позитивний і рухатимуться до катода. Амінокислоти із незарядженими бічними ланцюгами мають приблизно однакові значення рІ близькі до 6,0. Незначна різниця цих показників відображає вплив бічних груп на здатність карбоксильної та аміногрупи до іонізації.

В амінокислот із позитивно або негативно зарядженими бічними ланцюгами додаткові групи, здатні до іонізації, роблять свій внесок у значення рІ: у «кислих» амінокислот воно нижче, а в «основних» вище, ніж в решти.

Білки сироватки крові, імуноглобулін

Загальна кількість білків сироватки крові у здорових людей 65-85 г/л, у плазмі крові їх на 2-4 г/л більше за рахунок фібриногену. Порушення рівноваги між синтезом і розпадом білка, як і зміна внутрішньосудинного об'єму рідини, можуть бути причиною гіпо- або гіпер-протеїнемії. Унаслідок зміни швидкості синтезу і виведення білка його загальна кількість у крові змінюється. Якщо ж концентрація змінюється внаслідок зміни об'єму внутрішньосудинної рідини, то загальна кількість плазматичного білка залишається незмінною, тому іноді говорять про відносну гіпер- або гіпо-протеїнемію.

Найчастіше збільшення кількості загального білка у плазмі крові є ознакою дегідратації, яка є результатом втрати частини внутрішньосудинної рідини або виходу її у позасудинний простір. Такий стан може розвиватися при важких травмах, опіках, холері. При гострих інфекційних захворюваннях (пневмонії, ревматизмі тощо) підвищення рівня загального білка може бути наслідком не тільки внутрішньосудинної дегідратації, але й одночасного викиду білків гострої фази. При хронічних паразитарних або інфекційних захворюваннях гіперпротеїнемія може розвиватися внаслідок інтенсивного перебігу імунного процесу і наростання кількості імуноглобулінів — носіїв антитіл. Сюди ж можна віднести і підвищення концентрації білка внаслідок появи парапротеїнів — патологічних білків, які синтезуються у великій кількості, зокрема при мієломній хворобі.

Зменшення вмісту білка у плазмі може бути наслідком затримки води, наприклад, при серцевій декомпенсації або набряках на ґрунті цирозу печінки. Великі втрати білка, наприклад, із сечею при нефритах або через травний тракт, також можуть бути причиною гіпопротеїнемії, як і порушення білкового синтезу при раковій кахексії, хронічних ураженнях печінки, тривалих запальних процесах, під час голодування.

Найбільш поширеними **методами дослідження** білкового спектра плазми крові є:

- осадження нейтральними солями (наприклад амонію сульфатом), принцип методу полягає у здатності розчинів солей різних концентрацій преципітувати (від лат. *praecipitatio* - стрімке падіння вниз, осадження) окремі білки плазми крові;
- електрофоретичне фракціонування;
- імунологічне визначення ґрунтується на використанні імунних (антигенних) властивостей білкових фракцій;
- імуноелектрофорез, комбінація електрофоретичного фракціонування білків у гелі та імунологічної ідентифікації окремих білків завдяки проведенню аналізу утворених преципітатів;
- седиментаційні методи, запропоновані Сведбергом, дослідження залежності швидкості зсідання білків у градієнті щільності від маси і розмірів їх молекул;
- осадження білків охолодженим етанолом (за Коном), метод полягає у здатності етилового спирту різних концентрацій виділяти в осад окремі білкові фракції; застосовують в основному для отримання лікувальних препаратів;

- хроматографія (іоннообмінна), яку використовують для препаративного виділення окремих білкових фракцій;
- гель-фільтрація, яку використовують, як правило, для наукових досліджень.

У клініко-діагностичних лабораторіях лікувально-профілактичних закладів широко застосовують **електрофоретичні методи** дослідження. Методом електрофорезу білки плазми крові поділяють на 5 фракцій.

Альбуміни - найоднорідніша фракція білків плазми. Кількість альбумінів у сироватці крові людини становить 35-50 г/л. Підвищення вмісту альбумінів спостерігають у разі збільшення концентрації сироваткових білків у результаті дегідратації. Зменшення вмісту альбумінів у крові може бути наслідком значних втрат білка, порушення його синтезу і збільшення розпаду.

В α -глобулінах (α_1 - 1-5 г/л; α_2 - 4-12 г/л) зосереджена основна маса білків гострої фази. До них відносять С-реактивний білок, кислий α_1 -глікопротеїн, α_1 -антитрипсин, α_2 -глікопротеїн, церулоплазмін, гаптоглобін. Збільшення їх вмісту відображає інтенсивність розвитку стресових і запальних процесів при різних хворобах. Це можна спостерігати при гарячці, хронічних інфекціях, ревматизмі, інфаркті міокарда, опіках, травмах, злоякісних пухлинах, їх метастазуванні. Хоча підвищення концентрації білків цієї групи часто є паралельним, кожний із них має свою специфіку. Зменшення відносної кількості α -глобулінів може бути пов'язане із пригніченням їх синтезу в печінці на ранніх стадіях гепатиту, при загальному зниженні активності біоенергетичних процесів, гіпотиреозі.

У β -фракції глобулінів (норма у плазмі крові - 5-11 г/л) міститься основна маса ліпопротеїнів. Ліпіди крові, як правило, перебувають у вигляді білково-ліпідних комплексів: хіломікрони, ліпопротеїни високої щільності (ЛПВЩ), ліпопротеїни низької щільності (ЛПНЩ), ліпопротеїни дуже низької щільності (ЛПДНЩ), які можна розділити методами електрофорезу, хроматографії, ультрацентрифугування тощо. Ці комплекси різняться за кількістю білка, процентним вмістом окремих ліпідних компонентів і відотною молекулярною масою. Так, ЛПВЩ містять високий процент (50-60%) білка, їх відносна густина (1,063-1,21), у той час як ЛПНЩ і ЛПДНЩ містять менше білка і значну кількість ліпідів (до 95%), а тому мають низьку відносну густина (1,006-1,063).

Транспортуючи холестерин із периферійних тканин до печінки, ЛПВЩ сприяють його трансформації і виведенню із організму, зменшуючи ризик його відкладання в судинах і виникнення атеросклерозу. За допомогою ЛПНЩ холестерин транспортується до надниркових, статевих залоз, мозку тощо.

Збільшення цієї фракції спостерігають при нефротичному синдромі, діабеті, гіпотиреозі, та ін.

У фракції γ -глобулінів (норма - 5-16 г/л) переважають **імуноглобуліни** (Ig, антитіла). Збільшення вмісту цієї фракції відбувається при інтенсифікації **імунобіологічних процесів**, спричинених вірусними або бактеріальними інфекціями, запаленням, деструкцією тканин, опіками, тобто, коли організм виробляє антитіла й аутоантитіла. Існує 5 класів імуноглобулінів: G, M, A, D, E (або IgG, IgM, IgA, IgD і IgE), кожний із яких має характерне фізіологічне і клінічне значення.

Найповніше вивчені імуноглобуліни класу **G (IgG)**, вони ж є і найпоширенішими, в сироватці крові здорової людини вони становлять 70-75% від усіх імуноглобулінів. **Імуноглобулін IgG** має підкласи: **IG1, IG2, IG3 і IG4** знайдені в сироватці крові в різних концентраціях. Їх молекули побудовані з двох ідентичних легких (молекулярна маса 22 000 Да) і двох ідентичних важких (молекулярна маса 55 000-70 000 Да) поліпептидних ланцюжків. Найбільш активні у вторинній імунній відповіді та при антиоксичному імунитеті.

IgM (до 10 %) - еволюційно найдавніші імуноглобуліни; вони синтезуються В-лімфоцитами на перших стадіях імунної реакції на раніше невідомі антигени. Їх молекули складаються з 5 мономерних субодиниць, кожна з яких нагадує молекулу IgG.

Для IgA (15-20 % від всієї фракції імуноглобулінів) характерна здатність проникати в різні **секрети** (зокрема **слину**, **сльози**, **молозиво**, **кишковий сік**), де вони існують в полімерній

формі. Основною функцією IgA є захист слизових оболонок дихальних, сечостатевого шляхів і шлунково-кишкового тракту від інфекцій.

IgD становить менше одного відсотка фракції імуноглобулінів плазми, міститься в основному на мембрані деяких В-лімфоцитів. Функції до кінця не з'ясовані, вважається, що він є антигенним рецептором з високим вмістом пов'язаних з білком вуглеводів для В-лімфоцитів які ще не піддавалися дії антигену.

Антитіла, що беруть участь в алергічних реакціях, відносяться до IgE (в плазмі крові у вільному стані майже не трапляється), захищають і від паразитарних інфекцій. Молекулярна маса 200 кДа. Механізм дії IgE проявляється через зв'язування з поверхневими структурами базофілів і тучних клітин, з наступним приєднанням до них антигену, викликаючи дегрануляцію і викид в кров високо активних амінів (гістаміну і серотоніну - медіаторів запалення), на чому ґрунтується застосування алергічних діагностичних проб.

У клінічних лабораторіях знайшли застосування методи, які дозволяють за допомогою простих колоїдних реакцій виявляти зміни в білковому спектрі плазми крові. Оскільки порушення колоїдної стійкості сироватки крові під дією певних реактивів супроводжується спочатку коагуляцією (злипанням), а потім флокуляцією (спливанням або осадженням), вказані проби називають колоїдно-осадковими (проба Вельтманна, тимолова, цинк-сульфатна). Позитивний результат колоїдних проб зумовлений характерними кількісними змінами окремих фракцій (α -, β -, γ -) глобулінів або зменшенням співвідношення альбуміни / глобуліни. Для оцінки колоїдної стійкості білків сироватки крові використовують також тест визначення сумарної кількості β - і пре- β -ліпопротеїнів у сироватці крові за Бурштейном і Самаєм.

Основні білки м'язової тканини

Скорочувальні властивості м'язів людини і тварин, пов'язані з функціонуванням цілої низки білкових молекул.

Міоген складається із комплексу міогенів А, В і С. Міоген становить близько 20 % від усіх білкових волокон. Він розчиняється у воді, утворюючи 20-30%-ві гомогенні розчини з невеликою в'язкістю. Температура денатурації вільного від солей міогену 55-60 °С, ізоелектрична точка в інтервалі рН 6,0-6,5. З часом частина міогену переходить у нерозчинний стан.

Міоглобін. Вміст міоглобіну в м'язовій тканині становить близько 1 % і залежить від віку і виду м'язів. Це розчинний у воді білок. Міоглобін — пігмент хромопротеїд, який складається із глобіну і гему (феропропорфірин), що координаційно пов'язані між собою. Глобін, що входить до складу протеїду, за амінокислотним складом є повноцінним білком. На одну молекулу міоглобіну припадає один гем. Температура денатурації міоглобіну близько 60 °С. Денатурація міоглобіну супроводжується відщепленням простетичної групи. Міоглобін здатен приєднувати оксид азоту, сірководень та кисень за рахунок додаткових зв'язків. У разі приєднання кисню утворюється оксиміоглобін, який з часом переходить у метміоглобін бурокоричневого кольору. При цьому залізо віддає один електрон. Під дією відновників метміоглобін знову відновлюється до міоглобіну.

Міоглобін забарвлений у темно-червоний колір і зумовлює природне забарвлення м'язової тканини. Інтенсивність забарвлення червоного м'яса залежить від вмісту міоглобіну. При переході міоглобіну в метміоглобін забарвлення м'яса стає коричневим, воно помітне, коли змінюється близько 50 % міоглобіну.

Міоглобін крім передавача кисню виконує також роль основного фактора, що полегшує проникнення кисню в середину клітин. Унаслідок цього у м'язах, що працюють інтенсивно, міститься відносно більше міоглобіну, тому вони мають темніше забарвлення (наприклад, м'язи ніг і шиї великої рогатої худоби, м'язи коней), ніж м'язи, що не працюють або працюють менш інтенсивно.

Глобулін Х – білок, що становить близько 20 % від усієї кількості білкових речовин м'язової клітини. Він є повноцінним, не розчиняється у воді, але розчиняється в сольових розчинах навіть низької концентрації. Температура денатурації при рН 6,5 близько 50 °С, при

pH 7,0-8,0 °C, ізоелектрична точка лежить близько pH 5,2. Глобуліну X притаманні ферментативні властивості.

Міоальбуміни складають близько 1-2 % білкових речовин м'язового волокна. Вони розчиняються у воді і не розчиняються в кислому середовищі, оскільки мають ізоелектричну точку близько pH 3-3,5, температура їх денатурації 45-47 °C.

Нуклеопротейди. До складу білків саркоплазми нуклеопротейди входять у невеликій кількості. Вони зосереджені переважно в рибосомах, саркоплазматичному ретикулюмі. Особливістю їх є наявність у структурі молекули рибози, тобто нуклеїнові кислоти нуклеопротейдів саркоплазми є рибонуклеїновими кислотами (РНК).

Відомо, що білки саркоплазми мають желеутворювальну здатність, особливо за наявності аденозинтрифосфору (АТФ). За високих концентрацій іонів Ca^{2+} гель розріджується. Желеутворення білків саркоплазми залежить від наявності в середовищі фрагментів саркоплазматичного ретикулула. Видалення цих фрагментів не дає білкам можливості утворювати гель, що пов'язано з властивостями ретикулула, з його роллю в переміщенні Са.

Білки міофібрил. Актин і міозин є основними білками, що відповідають за скорочення м'язів.

Міозин – фібрилярний білок, що становить близько 40 % білкових волокон. Його молекули мають виражену ферментативну активність, легко взаємодіють між собою і актином, мають високу водо-зв'язувальну, желеутворювальну і емульгуючу здатності.

Здатність зв'язувати катіони металів та деякі інші фізико-хімічні властивості міозину пояснюються особливостями складу його первинної структури і будовою молекул. Близько 30 % усього амінокислотного складу міозину припадає на частку дикарбонових кислот (глутамінової і аспарагінової), що надає білку кислотного характеру і зумовлює специфічну здатність зв'язувати йони калію, кальцію і магнію за рахунок великої кількості вільних карбоксильних груп. Тому ізоелектрична точка міозину лежить у кислотній зоні при pH 5,4-5,5.

Здатність міозину з'єднуватися з актином та його АТФ-активність залежать від наявності в молекулі білка вільних сульфгідрильних груп.

Міозин має ферментативну активність, каталізує гідролітичний розпад аденозинтрифосфору на аденозіндифосфору і фосфору кислоти:



Розпад АТФ під впливом міозину супроводжується відокремленням неорганічного фосфату та виділенням з високоенергетичного зв'язку нуклеотиду великої кількості енергії, яка використовується для здійснення акту м'язового скорочення. Аденозинтрифосфатазна активність міозину залежить від наявності солей кальцію імагнію та pH середовища. Молекули міозину легко асоціюють одна з одною, утворюючи часточки з молекулярною масою, яка приблизно в 8 разів більша за вихідну (четвертинна структура білку). Крім того, міозин взаємодіє з іншими білками і компонентами клітин, наприклад міозин утворює міцний комплекс з актином і глікогеном.

У клітинах міозин здатний бути у комплексі з ліпідами (в складі цієї фракції є холестерин). Міозин денатурує за температури 45-50 °C.

Актин становить 12-15 % від усіх м'язових білків. Він є основним компонентом тонких ниток у структурі міофібрил м'язового волокна. Актин може існувати в двох формах, різних за фізико-хімічними властивостями: Г-актин (молекули кулеподібні) і фібрилярний Ф-актин (молекули витягнуті).

У волокнах живих м'язів у стані спокою актин перебуває в глобулярній і фібрилярній формах. Фібрилярний актин може переходити у глобулярний і навпаки.

Так, під впливом розчинних солей лужних і лужноземельних металів у певних концентраціях актин переходить у фібрилярну форму в результаті лінійної агрегації молекул. При видаленні цих солей він знову перетворюється на глобулярний актин. Фібрилярний актин утворюється також при заморожуванні м'язів, унаслідок підвищення концентрації в них солей.

Актоміозин – комплексний білок, що відповідає за м'язове скорочення. Він складається з двох білків актину і міозину. За певних умов міозин здатний взаємодіяти з оксигрупами

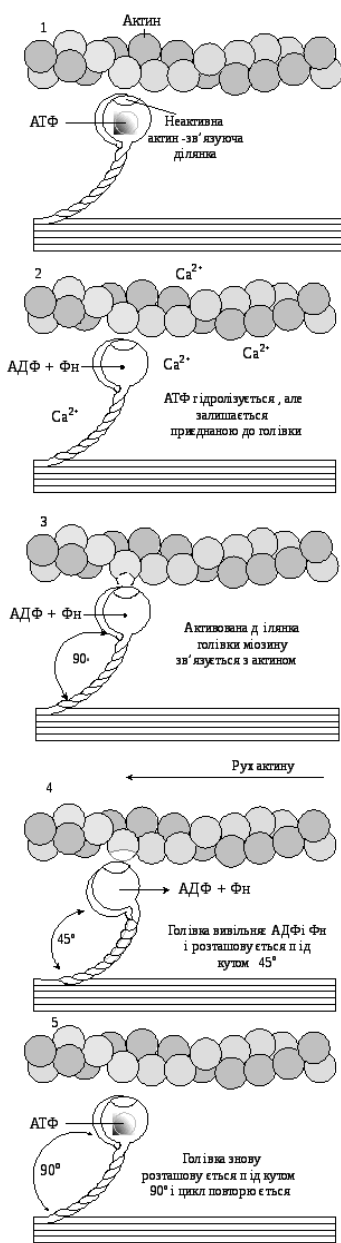
фібрилярного актину, утворюючи актоміозин. Співвідношення актину і міозину в м'язах 1 : 3. Актomioзин має інші властивості, ніж актин і міозин. Скорочуючись, він зумовлює скорочення м'язів за життя та при посмертному задубінні. Істотну роль у цьому процесі відіграє АТФ. За наявності аденозинтрифосфорної кислоти і залежно від її концентрації актоміозин частково або повністю дисоціює на актин та міозин. Посмертне задубіння м'язів відбувається через припинення синтезу в м'язових клітинах АТФ, це унеможливує дисоціацію актоміозину і розслаблення м'язів.

У складі м'язової тканини актоміозин залежно від умов може перебувати в асоційованій або частково дисоційованій формі, що вміщує незначну кількість актину. Дисоціація актоміозину на вихідні компоненти відбувається при підвищеній концентрації солі. При розведенні актоміозин випадає в осад. Температура денатурації актоміозину 42-48 °С. Актomioзин не розчиняється у воді.

Тропоміозин — структурний білок міофібрил. Він становить 4-7 % міофібрилярних білків. За амінокислотним складом тропоміозин відрізняється від міозину: в його молекулі немає триптофану. Водночас він має високий вміст дикарбонних і основних амінокислот. Характерною особливістю білка є стійкість до денатурації. В 0,1 М сольовому розчині тропоміозин не осаджується при нагріванні до 100 °С при рН 6,3. Тропоміозин є складним комплексом з двох білків: тропоміозину Б і тропіну. Перший збільшує чутливість актоміозину до Ca^{2+} й ініціює АТФ-активність міозину. У процесі скорочення м'язів тропоміозин виконує функцію, пов'язану з передачею кальцію.

Білки строми. До цієї групи належать білки, що складають сарколему і пухку сполучну тканину, які об'єднують м'язові волокна в м'язові пучки. На поверхні сарколеми розташовані сполучнотканинні волокна, що складаються з білків сполучної тканини (протеїноїдів): колагену, еластину і ретикуліну. У міжклітинному просторі м'язової тканини містяться муцини і мукоїди – слизоподібні білки, що виконують захисні функції і полегшують ковзання м'язових пучків.

Механізм скорочення та розслаблення м'язів



Механізм скорочення та розслаблення скелетного м'яза.

М'язове скорочення розпочинається з нервового імпульсу. Під впливом ацетилхоліну виникає збудження клітинної мембрани і різко зростає проникність її для іонів Ca^{2+} . Останній поступає в саркоплазму з депо (цистерн цитоплазматичного ретикулуму). Концентрація кальцію в цитоплазмі м'язової клітини різко зростає в 100 разів (з 10^{-7} М до 10^{-5} М), він зв'язується з тропоніном С, утворюючи комплекс (Тропонін-С + 4 Ca^{2+}), який впливає на тропоміозин, внаслідок чого останній або від'єднується, або змінює конформацію F-актину таким чином, що з'являється можливість його взаємодії з міозиною голівкою.

Розпочинається цикл м'язового скорочення, який складається з 5 основних стадій:

- 1) Після поступлення нервового імпульсу міозинова голівка, що знаходилася в неактивному стані (рис. 1), сама по собі може гідролізувати АТФ до АДФ і Фн, але при цьому продукти гідролізу не вивільнюються, тому цей процес не носить каталітичного характеру (рис. 2).
- 2) Міозинова голівка, що містить АДФ і Фн вільно обертається під великим кутом і при досягненні потрібного положення зв'язується з F-актином, утворюючи з віссю фібрили кут 90° (рис. 3);

3) Ця взаємодія забезпечує вивільнення АДФ і Фн з актин-міозинового комплексу (рис. 4). Актоміозинний зв'язок має найменшу енергію при розмірі кута 45° , тому кут міозину з віссю фібрили змінюється з 90° на 45° , просуваючи при цьому актин у напрямку центра саркомера на один елементарний крок (10–15 нм). Чим більше міозинових голівок, тим потужніша сила м'язового скорочення.

4) Нова молекула АТФ зв'язується з комплексом міозин–F-актин (рис. 17.4, 5).

5) Комплекс міозин-АТФ має низьку спорідненість до актину, тому відбувається відокремлення міозинової (АТФ) “голівки” від F-актину (рис. 5). Остання стадія і є власне розслабленням, яке залежить від зв'язування АТФ з актин-міозиновим комплексом. АТФ знову гідролізується міозиновою голівкою і цикл повторюється.

Розслаблення скелетного м'яза відбувається у випадку, коли концентрація іонів Ca^{2+} у саркоплазмі стає нижчою за 10^{-7} М. При цьому комплекс Тропонін-С + 4 Ca^{2+} руйнується під впливом мембрано-зв'язуючого фермента Ca^{2+} -залежної АТФази, яка використовує енергію АТФ для перенесення іонів Ca^{2+} назад у цистерни проти градієнта їх концентрації. Накопиченню іонів Ca^{2+} у цистернах сприяє білок кальсеквестрин. Далі тропонін, реагуючи з тропоміозином, інгібує подальшу взаємодію міозинової голівки з F-актином.

Механізм скорочення та розслаблення гладкого м'яза.

Молекулярні структури гладких м'язів дуже схожі з відповідними структурами посмугованих, але розташування саркомерів у них не дає характерної посмугованості. Подібно до скелетних м'язів, гладкі м'язи містять молекули α -актиніну та тропоміозину, але в них відсутня тропонінова система. Окрім того, легкі ланцюги (pL-ланцюги) міозинових молекул гладких м'язів відрізняються від аналогічних ланцюгів у скелетних м'язах.

Особливості актин-міозинової взаємодії представлені в таблиці 17.2.

Таблиця 17.2. Актин-міозинова взаємодія в посмугованих і гладких м'язах

	Посмуговані м'язи	Гладкі м'язи
Білки м'язових філаментів	Актин, міозин, тропонін (С, І, Т), тропоміозин	Актин, міозин, тропоміозин
Спонтанна взаємодія F-актину з міозином	Є	Немає
Інгібітор взаємодії F-актину з міозином	Тропонінова система	Нефосфорильований pL-ланцюг міозину
Активатор скорочення	Ca^{2+}	Ca^{2+}
Безпосередня дія іонів кальцію	4 Ca^{2+} зв'язується з Тропонін-С. Комплекс запобігає інгібувальній дії тропоніну І на взаємодію F-актину з міозином (робить можливою активацію АТФази F-актином)	4 Ca^{2+} зв'язується з кальмодуліном. Комплекс активує кіназу pL-ланцюгів міозину. Фосфорильований pL-ланцюг перестає інгібувати взаємодію F-актину з міозином (робить можливою активацію АТФази F-актином)

Коли міозин гладких м'язів зв'язується з F-актином, то утворюється комплекс, позбавлений помітної АТФазної активності. pL-ланцюг міозину запобігає зв'язуванню його голівок з F-актином. Для подолання цієї перешкоди необхідне фосфоритування pL-ланцюга. У саркоплазмі гладких м'язів присутня кіназа легких ланцюгів міозину, яка є Ca^{2+} -залежною. Вона активується лише у випадку зв'язування кальцію з кальмодуліном, після чого може відбуватися фосфорилування pL-ланцюга з подальшою взаємодією міозинової голівки з F-актином (рис.17.5).

Знову ж таки, розслаблення гладкого м'яза відбувається при зниженні концентрації іонів Ca^{2+} (нижче 10^{-7} М) у саркоплазмі, при цьому кальцій від'єднується від кальмодуліну, який, своєю чергою, відокремлюється від кінази легкого ланцюга міозину, викликаючи його інактивацію.

Обмін білків в організмі

На відміну від жирів і вуглеводів, білки не відкладаються в організмі про запас, тому повинні постійно надходити до організму з харчовими продуктами. Добова потреба білка становить 76-120 г. Вона залежить від виду роботи і зумовлених ним енергетичних затрат, віку, статі, функціонального стану організму.

Харчові білки тваринного та рослинного походження мають різний набір амінокислот, тому можливість їх використання для синтетичних потреб організму неоднакова. Більшість білків рослинного походження не мають тих чи інших амінокислот або мають їх у дуже малих кількостях і тому називаються біологічно неповноцінними білками. Оскільки деякі амінокислоти в організмі не синтезуються (лейцин, ізолейцин, лізин, метіонін, триптофан, фенілаланін тощо), їх називають **незамінними** амінокислотами, вони мають надходити із їжею. Це, як правило, продукти тваринного походження – м'ясо, риба, курячі яйця, молочні продукти. Якщо вони з їжею не надходять, то синтез білків може різко порушитись. Внаслідок чого може виникнути дистрофія організму, порушення його росту, недокрів'я, ураження нервової системи, слабшає імунна система тощо. Найбільш повноцінними білками для людини, як і для більшості інших ссавців, є білки молока, вони засвоюються майже повністю.

Про нормальний перебіг білкового обміну судять за азотистим балансом. **Азотистий баланс** – співвідношення кількості азоту (нітрогену), який надійшов протягом доби з їжею, і азоту, виведеного за добу із організму з сечею, калом і потом в результаті розпаду білка. У дорослої людини звичайно зберігається **азотиста рівновага** – кількість введеного азоту з їжею і виведеного з продуктами виділення дорівнюють одне одному. Коли азоту з їжею надходить в організм більше, ніж його виводиться із організму, тоді говорять про **позитивний азотистий баланс**. Такий баланс спостерігається у дітей у зв'язку із збільшенням маси тіла під час росту, при посиленому спортивному тренуванні, під час вагітності жінки. **Негативний баланс** характеризується тим, що кількість введеного азоту менша виведеного. Він може бути при білковому голодуванні, тяжких хворобах.

Діти мають споживати оптимальну кількість білка з набором усіх необхідних амінокислот, при цьому важливо, щоб співвідношення кількості білків, жирів і вуглеводів у їжі дитини було 1:1:3 (у деяких інформаційних джерелах – 1:1:4), за таких умов азот максимально затримується в організмі. Добова потреба дітей у білках на 1 кг ваги тіла: 1-4 років – 3-3,5 г, 4-7 років – 2,5 г, після 7 років – близько 2 г.

Недостатня кількість білків в їжі призводить до порушення синтезу власних білків організму (дефіцит амінокислот), що особливо небезпечно в дитячому віці. Гальмується ріст і розвиток, розвивається анемія, в кінцевому рахунку це може стати смертельно небезпечним. Для нормального синтезу власних білків необхідно щоб амінокислоти в клітинах були всі, в достатній кількості і відразу. Відсутність хоча б однієї з незамінних амінокислот унеможливує синтез функціональних білкових молекул.

Надмірна кількість білків в харчовому раціоні теж шкідлива. Білки важчі для перетравлювання ніж інші складові їжі. Коли організм змушений використовувати білки для отримання енергії (нестача в раціоні вуглеводів і ліпідів) утворюються в великих кількостях токсичні продукти їх розпаду (аміак, сечовина, сечова кислота та ін.). Це створює надмірне навантаження на систему виділення (нирки) і може мати дуже негативні наслідки для організму людини.

3. Ферменти, класифікація та властивості

Ферменти, або ензими – це біологічні каталізатори білкової природи, які забезпечують прискорення і координацію численних метаболічних процесів у живих організмах. Між ферментами і каталізаторами неорганічної природи існують певні спільні та відмінні ознаки. Спільним для них є те, що вони не можуть прискорювати термодинамічно неможливі реакції, а лише каталізують ті реакції, які можуть відбуватись і без них, однак із значно меншою швидкістю. Ферменти і неорганічні каталізатори не використовуються під час реакції і не входять до складу кінцевих продуктів, не зміщують хімічної рівноваги, а тільки прискорюють її встановлення.

Ферменти за хімічною структурою є простими і складними білками, їх каталітична активність залежить від ступеня збереження нативної білкової структури. Під впливом денатуруючих агентів втрачається каталітична активність ферментів. Отже, для ферментативної активності білків важливе значення має збереження їх первинної, вторинної та третинної структур.

Усі ферменти поділяють на 6 класів за типом реакції, які вони каталізують. Після назви ферменту в дужках вказують його номер за офіційною міжнародною класифікацією ферментів IUBMB 1992 р., в квадратних дужках часто вказують кофактор або простетичну групу, що забезпечує роботу ферменту.

1. Оксидоредуктази (каталізують окисно-відновлювальні реакції), наприклад, алкогольдегідрогеназа (КФ 1.1.1.1) $[Zn^{2+}]$ це фермент, що окислює в печінці етиловий спирт до ацетальдегіду.

2. Трансферази (каталізують перенос групи з однієї молекули на іншу), наприклад ДНК-залежна-РНК-полімераза, інша назва «РНК-полімераза» (КФ 2.7.7.6) – переносить нуклеотид.

3. Гідролази (каталізують розщеплення зв'язків шляхом гідролізу), наприклад, ацетилхолінестераза (КФ 3.1.1.7) – гідролізує ефіри карбонових кислот, один з ключових ферментів передачі нервового імпульсу.

4. Ліази (розщеплюють або утворюють зв'язки без участі окиснення або відновлення), наприклад, аденілатциклаза (КФ 4.6.1.1) – утворює або розщеплює зв'язки Р-О.

5. Ізомерази (каталізують перетворення в межах однієї молекули), наприклад, фосфоглюкомутаза (КФ 5.4.2.2) – при метаболізмі вуглеводів переносить фосфатну групу в самій молекулі і перетворює глюкозо-1-фосфат на глюкозо-6-фосфат.

6. Лігази (з'єднують дві молекули при гідролізі макроергічних зв'язків), наприклад, ДНК-лігаза (КФ 6.5.1.1) $[ATP]$ – приєднує фрагменти Оказакі до відстаючого ланцюга ДНК при її реплікації, для роботи ферменту необхідна аденозинтрифосфорна кислота $[ATP]$.

Кофактори. Для біологічної дії більшості ферментів необхідна наявність певних низькомолекулярних небілкових сполук — кофакторів. Роль кофакторів можуть грати органічні сполуки різної хімічної природи (наприклад вітаміни) або іони металів (Mn^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Cu^{+} та ін.), метали, що виступають у якості активаторів деяких ферментів в організмі людини наведено в таблиці.

Таблиця – Іони металів які є активаторами ряду ферментів в організмі людини

Фермент	Метал
Цитохроми (b, c, a, a ₃)	Fe
Каталаза	->
Пероксидаза	->
Супероксиддисмутаза	Cu
Аскорбатоксидаза	->
Фенолоксидаза	->
Ксантиноксидаза	Mo
Альдегідоксидаза	->
Пептидази	Co
Амілаза слини	Ca
Ліпаза	->
Карбоангідраза	Zn

Карбоксипептидаза	->-
Лактатдегідрогеназа	->-
Пептидаза	Mg
Фосфатаза	->-
Фосфоглюкокіназа	->-
Аргіназа	Mn
Фосфоглюкомутаза	->-
Холінестераза	->-

Коферменти (або коензими) – біоорганічні сполуки небілкової природи, які є необхідними для дії ферменту, тобто перетворення субстрату в каталітичному акті.

Основні властивості ферментів як біологічних каталізаторів: висока активність, субстратна специфічність, термолабільність (температурна нестійкість), залежність активності від рН середовища, зміна активності ферментів за присутності активаторів й інгібіторів (рис. 3.1). Перераховані властивості зумовлені білковою природою ферментів. Швидкість ферментативної реакції залежить від співвідношення концентрацій ферменту і субстрату.

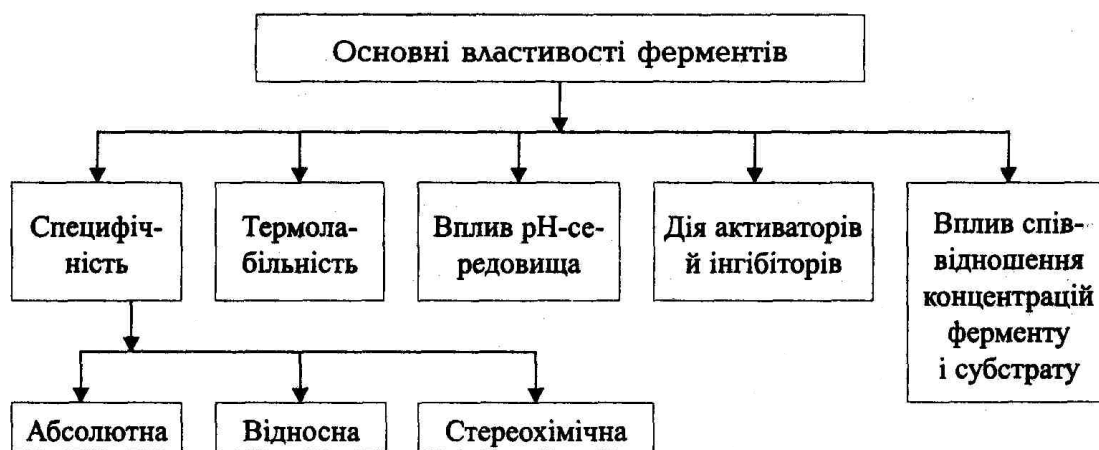


Рисунок 3.1 – Основні властивості ферментів.

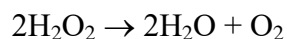
Одиниці активності ферментів. Активність ферментів виражають у міжнародних одиницях активності. Кількість ферменту, яка каталізує перетворення одного мікромоля субстрату на продукт реакції за 1 хв у стандартних (звичай оптимальних) умовах з розрахунку на 1 г тканини, називають *міжнародною одиницею* (МО).

Питома активність – це число одиниць ферментативної активності на 1 мг білка.

Міжнародний біохімічний союз запропонував використати в якості одиниці активності **катал** (кат). Активність в 1 кат — це така кількість ферменту, яка каталізує перетворення одного моля субстрату на продукт реакції за 1 с. Отже, 1 кат = 60×10^6 МО.

Рекомендовано також використовувати одиницю значно меншого масштабу – нанокатал (нкат), яка дорівнює 10^{-9} кат.

Кількість молекул субстрату, які підлягають перетворенню однією молекулою ферменту на продукт у ході реакції за одиницю часу за повного насичення ферменту субстратом, прийнято називати числом обертів ферменту, або молярною активністю. Наприклад, одна молекула катализи еритроцитів здатна розщепити за 1 секунду 44 000 молекул гідрогену пероксиду (H_2O_2).



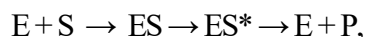
Активність ферменту визначають:

- за кількістю продукту, який утворився під дією ферменту;
- за кількістю витраченого за одиницю часу субстрату за оптимальних умов ферментативної реакції.

Ферментативна активність залежить від ряду факторів:

- 1) концентрації ферменту й субстрату (швидкість ферментативної реакції збільшується зі збільшенням кількості ферменту при високій концентрації субстрату);
- 2) температури (оптимальна температура для більшості ферментів становить 37-40 °С);
- 3) рН середовища (для кожного ферменту існує оптимальне значення рН, при якому він проявляє максимальну активність);
- 4) присутності інгібіторів та активаторів (для ферментів характерна регуляція специфічними низькомолекулярними речовинами та іонами металів).

Механізм дії ферментів полягає в утворенні фермент-субстратного комплексу, який проходить наступні стадії:



де E – фермент, S – субстрат, ES – фермент-субстратний комплекс, ES* – активований фермент-субстратний комплекс, P – продукти реакції.

Інгібітори – хімічні сполуки, що зменшують каталітичну активність ферментів. На відміну від речовин, які інактивують ферменти за рахунок їх денатурації (концентровані кислоти та луки, солі важких металів у високих концентраціях та ін.), дія інгібіторів є специфічною стосовно певних ферментів або груп ферментів, вони мають низьку концентрацію. В залежності від типу інгібітора існує декілька варіантів інгібування.

Зворотне інгібування ферментів, залежно від механізму взаємодії ферменту з інгібітором, поділяється на *конкурентне* та *неконкурентне*.

Конкурентне інгібування. Конкурентне інгібування спричиняють ліганди, що за своєю хімічною структурою близькі до субстрату і взаємодіють із тим самим активним центром на молекулі ферменту, що і субстрат.

Неконкурентне інгібування. Неконкурентні інгібітори не мають структурної подібності до субстрату. Вони реагують з іншими, відмінними від активних центрів, ділянками на молекулі ферменту і можуть зв'язуватися не лише з вільним ферментом, а також і з фермент-субстратним комплексом.

Незворотне інгібування ферментів — процес, що відбувається внаслідок руйнування або незворотної модифікації однієї чи декількох функціональних груп ферменту. Незворотні інгібітори мають властивості клітинних отрут.

Специфічність дії ферментів зумовлена відповідністю конфігурації активного центра ферменту до конформації субстрату, на який він діє (рис. 3.3). Специфічність буває абсолютна субстратна (коли фермент діє лише на один субстрат, наприклад уреазу), відносна субстратна (фермент каталізує перетворення субстратів, що належать до різних класів органічних сполук, наприклад глутатіонтрансфераза), групова (коли фермент діє на групу субстратів, подібних за будовою або типом хімічного зв'язку, наприклад, пепсин, трипсин, ліпаза, алкогольдегідрогеназа), стереохімічна специфічність (коли фермент діє на один стереоізомер, наприклад, фумаратгідратаза діє тільки на транс-ізомер-фумарат).

Фермент сахаразу (КФ 3.2.1.48) гідролізує сахарозу. Амілаза - фермент, який прискорює гідроліз крохмалю та глікогену. Розрізняють: α -амілазу (КФ 3.2.1.1), яка каталізує ендогідроліз 1,4- α -глікозидних зв'язків у полісахаридах, β -амілазу (КФ 3.2.1.2) - каталізує гідроліз 1,4- α -глікозидних зв'язків у полісахаридах і відщеплює залишки мальтози від нередукуючих кінців молекули, γ -амілазу (КФ 3.2.1.3) - каталізує послідовне відщеплення залишків глюкози від нередукуючих кінців полісахаридів.

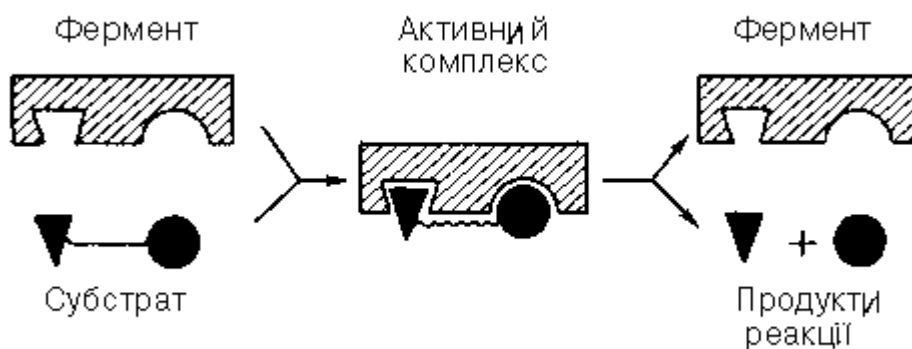


Рисунок 3.2 – Схематичне зображення утворення нестійкого фермент-субстратного комплексу згідно теорії «ключ-замок».

Захворювання, викликані порушеннями ферментативної активності

На сьогодні відомі сотні хвороб спричинені набутим або спадковим порушенням функціонування тих чи інших ферментних систем. Зниження (недостатність) або відсутність активності того чи іншого ферменту призводить до збою біохімічних реакцій в організмі та розвитку патологічного процесу. Це, так звані, метаболічні захворювання (розлади обміну речовин). Причиною захворювань можуть бути спадкові порушення, захворювання ендокринних органів, або інші порушення в роботі органів важливих для обміну речовин (наприклад, печінки). Більшість метаболічних порушень є результатом вродженої недостатності певного ферменту, викликаній генетичним дефектом. Загальна частота спадкових метаболічних захворювань досить висока – щонайменше кожна 500-а новонароджена дитина має якусь метаболічну патологію. Завдяки сучасним досягненням медицини можливо дуже рано, зокрема в періоді новонародженості, встановлювати діагноз метаболічного захворювання і проводити ефективне лікування.

Наприклад, при спадковому дефекті у людей може розвинути нестерпність до глютену. Це вимагає довічного дотримання дієти з повним виключенням всіх продуктів, що містять глютен. Глютен (клейковина) (від лат. *gluten* - клей) – загальна назва групи білків, що запасуються в насінні злакових рослин, особливо пшениці, жита, вівса, ячменю. Глютен у вигляді клейковини має велике значення в хлібопекарській промисловості, його вміст в борошні є чинником, що визначає такі характеристики тіста як пружність при змішуванні з водою, і служить критерієм визначення якості борошна. Глютен сприяє одержанню пухких і пористих борошняних виробів. Вважається, що на алергію на клейковину (її симптомами є нудота, головний біль, слабкість) страждає близько 6% мешканців США. Тому їм радять вживати зернові, які не містять глютену: амарант, гречка, кукурудза, пшоно, рис, дикий рис, індійська рисова трава, теф, сорго, кіноа, монтина.

Ще один приклад – галактоземія. Галактоземія є вродженим обмінним захворюванням, яке пов'язане з дефіцитом *галактозо-1-фосфатуриділтрансферази*. Цей фермент необхідний організму для перетворення галактози (дисахарид, що міститься у молочних продуктах) на глюкозу. При такому захворюванні в крові накопичується галактоза, що призводить до пошкодження нирок, печінки, центральної нервової системи та інших систем організму. Якщо хворобу не виявити вчасно, вона може закінчитися летальним результатом. Через те, що галактоза входить до складу молочних продуктів, клінічні ознаки хвороби проявляються досить рано, практично відразу після народження. Хоча дуже часто перший час хворий малюк виглядає цілком нормальним. Але вже через кілька днів або тижнів у дитини спостерігається порушення травлення (блювота, анорексія), що приводить до гіпотрофії, слабка надбавка у вазі, низький рівень цукру в крові, труднощі з харчуванням, дратівливість, млявість. Через деякий час, якщо хвороба не діагностована, з'являються перші симптоми ураження печінки малюка: жовтяниця, геморагічний синдром, збільшення печінки, цироз та ін. Через кілька тижнів може проявитися порушення зору (катаракта), проблеми з нирками, набряки кінцівок, судоми, а

потім, вже через кілька місяців, спостерігається затримка психомоторного розвитку, рухових навичок і зростання, зменшення щільності кісток. Зрозуміло, що відразу після діагностування галактоземії дитину треба переводити на штучне вигодовування.

Фенілкетонурія – спадкова хвороба, яка зумовлена дефектом гена ферменту фенілаланінгідроксилази, що знаходиться у 12-й хромосомі. Діти, народжені з фенілкетонурією, не здатні метаболізувати амінокислоту фенілаланін (входить до складу більшості білків), яка через це накопичується в крові. Така ненормально висока кількість фенілаланіну перешкоджає нормальному розвитку мозку. За умови відсутності лікування, призводить до розумової відсталості як правило, глибокого ступеню (ідіотія або імбецильність). Головним способом лікування є обмеження надходження в організм фенілаланіну, дієтотерапія. При ранній діагностиці це гарантує нормальний психічно-нервовий розвиток дитини. Після досягнення 12-14 річного віку, такі діти можуть переходити на нормальне харчування і ніяких ознак отруєння їх фенілаланіном не виявляється.

4. Хімія вуглеводів

Вуглеводи – найбільш поширені у природі органічні речовини. Вони складають більшу частину харчового раціону людини й є основним джерелом енергії для неї, приблизно 8,4-10,5 МДж з потрібних людині на добу, або 2/3 енергії забезпечується вуглеводами. Протягом дня доросла людина в середньому споживає 100-130 г білків, близько 80-100 г жирів і 450-500 г вуглеводів. Звичайно можуть бути відхилення від середніх величин залежно від особливостей праці, побуту, клімату тощо.

Вуглеводи утворюються в природі з діоксиду вуглецю та води за рахунок фотосинтезу, що протікає в рослинах та деяких мікроорганізмах, і складають основну масу органічного вуглецю біосфери; їх вміст у тканинах рослин становить близько 75-80 % в перерахунку на суху масу. У свою чергу, рослинні вуглеводи є одним із основних джерел вуглецю для тваринних організмів. У людини і тварин вміст вуглеводів відносно невисокий, в середньому 1-2% маси тіла (у перерахунку на масу сухої речовини). Знаходяться вони переважно у вигляді резервного полісахариду глікогену в печінці, м'язах та інших тканинах і органах.

Вуглеводи виконують такі функції:

1. **Енергетичну** (унаслідок їх окиснення вивільнюється енергія необхідна для життєдіяльності).
2. **Синтетичну** (з вуглеводів в організмі можуть синтезуватися сполуки інших типів, зокрема ліпіди, деякі амінокислоти та ін.).
3. **Пластичну** (входять до складу структурно-функціональних компонентів клітин і тканин).
4. **Гідроосмотичну** (гіалуронова кислота зв'язує міжклітинну воду і катіони, регулюючий міжклітинний осмотичний тиск).
5. **Кофактори** (виконують роль додаткових факторів необхідних для роботи ферментів).
6. **Опорну** (хондроїтинсульфати в кістковій тканині тощо).

Моносахариди (моноцукри)

Залежно від кількості атомів Карбону, моносахариди (монози) поділяються на тріози (молекула містить 3 атоми карбону), тетрози (4 атоми карбону), пентози (5 атомів карбону), гексози (6 атомів карбону) та ін. Найбільш поширеними в тваринних організмах моносахаридами є гексози та пентози, які знаходяться в клітинах як учасники обміну речовин – метаболіти та виконують певні структурні функції, входячи до складу інших біомолекул. Моноцукри – гігроскопічні, добре розчинні у воді, слабо розчинні у спиртах кристалічні речовини; їх водні розчини, як правило, мають солодкий смак і нейтральну реакцію.

D-Глюкоза (синоніми - виноградний цукор, декстроза) – $C_6H_{12}O_6$, гексоза, моносахарид, досить поширений у природі. У вільному стані глюкоза знаходиться в рослинах, крові людини

(4,44-6,66 ммоль/л) та інших біологічних рідинах (рис. 3.1). Глюкоза є структурним компонентом дисахаридів сахарози, лактози та гомополісахаридів крохмалю, клітковини і глікогену. Рослинний полісахарид крохмаль є основним джерелом надходження глюкози в організм людини. Як вже зазначалося, за рахунок аеробного окиснення глюкози в середньому вивільнюється до 60-70% хімічної енергії, яка необхідна для енергозабезпечення процесів життєдіяльності.

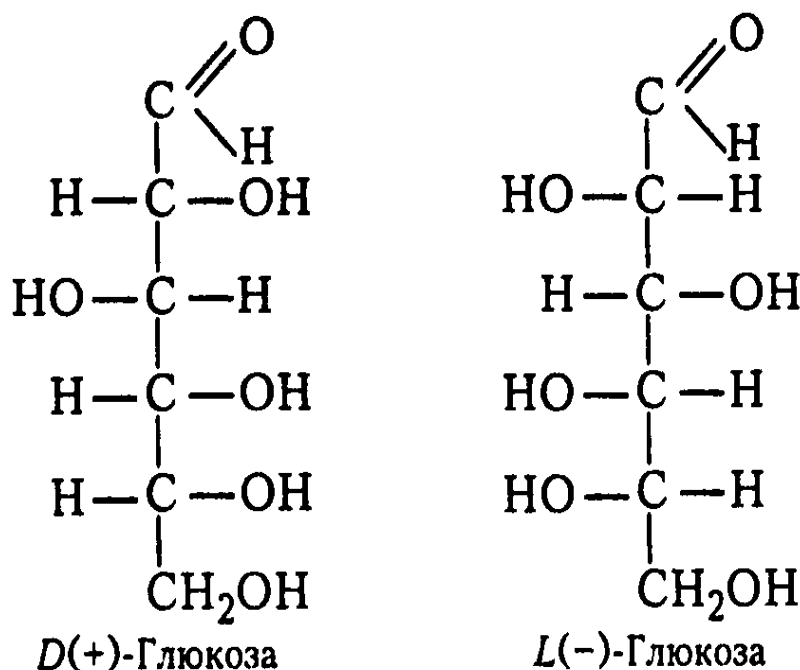


Рисунок 3.1 – Молекула глюкози: .

Фрукто́за (плодовий цукор) – шестиатомний кетоспирт, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, міститься в солодких плодах, меді; безбарвні кристали солодкого смаку (солодше сахарози в 1,5 рази і глюкози в 3 рази), $t_{\text{пл}} 102\text{--}104^\circ\text{C}$. На відміну від глюкози, що служить універсальним джерелом енергії, фруктоза не поглинається інсуліно-залежними тканинами. Вона майже повністю поглинається і метаболізується клітинами печінки. Практично ніякі інші клітини людського організму (окрім сперматозоїдів і клітин печінки) не можуть використати фруктозу. Перевага фруктози полягає в тому, що солодкого смаку можна надати страві відносно невеликими кількостями фруктози, оскільки при близькій до цукру калорійності (380 ккал / 100 г) вона в 1,2-1,8 рази солодша.

D-Галактоза (молочний цукор) – гексоза, входить до складу дисахариду лактози, що міститься в молоці, а також у гетерополісахаридах (глікозамінгліканах, або мукополісахаридах) тваринних тканин. Формула: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, Молярна маса: 180,156 г/моль, Температура плавлення: 167°C , Назва за ІЮПАК: (3R,4S,5R,6R)-6-(hydroxymethyl)oxane-2,3,4,5-tetrol. Головним джерелом галактози для організму людини є лактоза, яка після гідролізу звільнює галактозу, здатну перетворюватись на глюкозу.

D-Маноза – гексоза, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, є структурним компонентом полісахариду манану, що є компонентом рослинних та бактеріальних глікопротеїнів, містяться в шкарлупах горіха, зернах ячменю, пшениці, корінні спаржі, цикорію, морських водоростях, грибах; сама маноза у вільному стані міститься в шкурці цитрусових. У тваринному організмі входить до складу олігосахаридної частини гліколіпідів та глікопротеїнів мембран і біологічних рідин. Продукт відновлення манози – шестиатомний спирт манітол (маніт) застосовується у медицині в якості осмотичного діуретину та як замітник сахарози в дієті хворих на цукровий діабет.

D-Рибоза (фруктовий сироп) – пентоза з групи альдопентоз, що в β -фуранозній формі входить до складу нуклеотидів рибонуклеїнових кислот та вільних рибонуклеотидів, ряду коферментів (НАД, НАДФ, ФМН), глікозидів і антибіотиків. Формула: $C_5H_{10}O_5$. Існує у вигляді оптично активних *D*- або *L*-форм. Мол. маса 150,14.

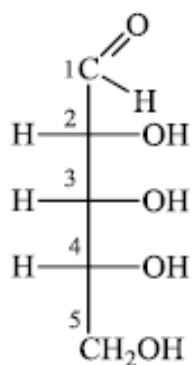
2-Дезокси-D-рибоза (дезоксирибоза) – пентоза, що відрізняється від *D*-рибози відсутністю атома кисню в другому положенні, входить до складу нуклеотидів дезоксирибонуклеїнових кислот (ДНК).

L-арабіноза – альдопентоза, що входить до складу полісахаридів рослин арабінанів, рослинних камедів, зокрема, **гуміарабіку**, полісахаридів туберкульозної палички. Формула: $C_5H_{10}O_5$. У вільному стані міститься в тканинах хвойних дерев.

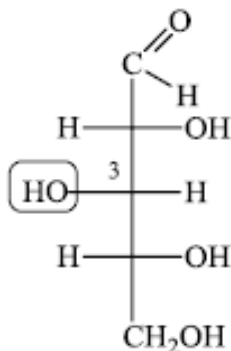
D-ксилоза (деревний цукор) – пентоза, зустрічається у складі рослинних полісахаридів ксиланів, насінневих зародках більшості рослин. Використовується в кондитерському виробництві, як поживна речовина для росту кормових дріжджів, а також для синтезу спирту ксиліту, що застосовується в фармакології і медицині (замінник цукру, підсолоджувач).

D-рибулоза, D-ксилулоза – кетопентози, які у вигляді фосфорних ефірів утворюються в організмі людини і тварин як метаболіти пентозофосфатного шляху обміну глюкози.

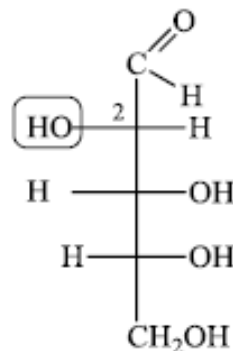
Пентози $C_5H_{10}O_5$



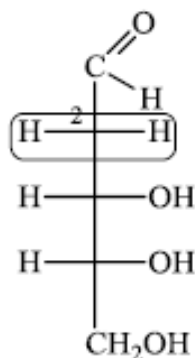
Рибоза



Ксилізо́за



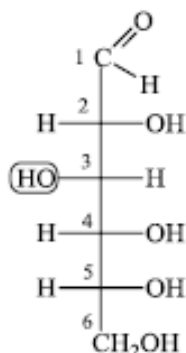
Арабіно́за



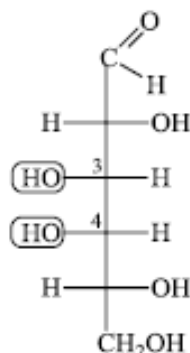
Дезоксири́боза

(у C_2 не має $-OH$ групи, молекулярна формула $C_5H_{10}O_4$)

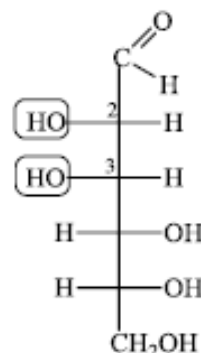
Гексози $C_6H_{12}O_6$



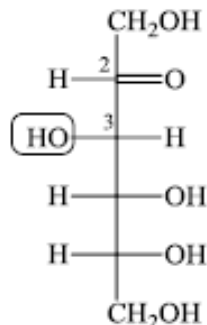
Глюко́за



Галакто́за



Манно́за



Фрукто́за-кетоза

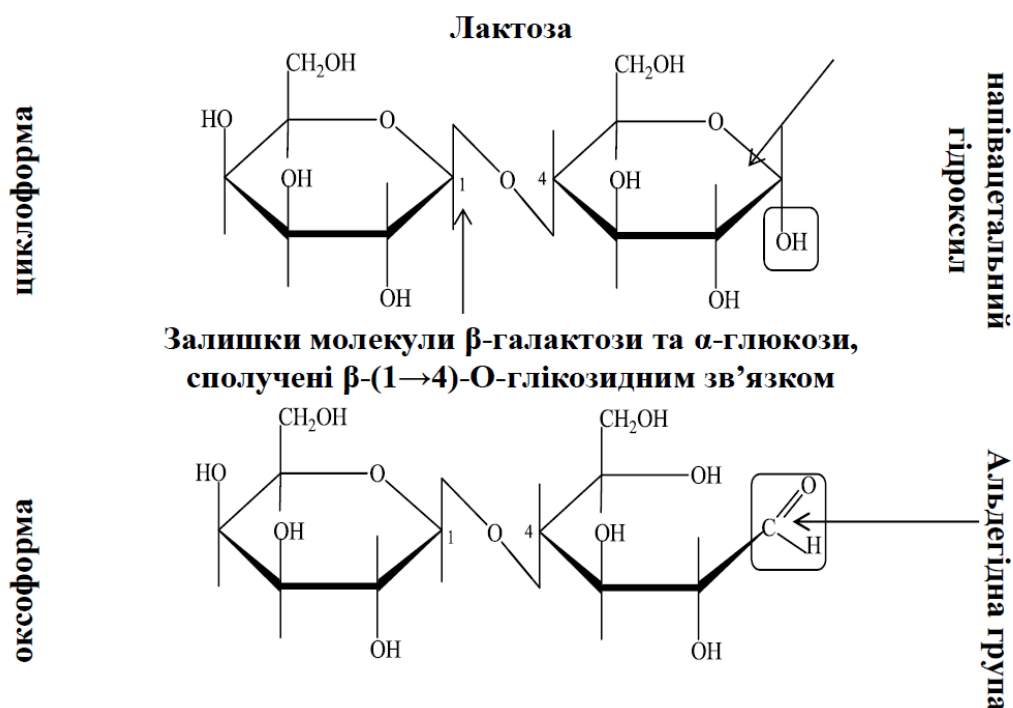
Складні вуглеводи

Складні вуглеводи (глікани) – продукти конденсації (або полімеризації) моносахаридів та їх похідних, містять у своєму складі від двох (*дисахариди*), трьох (*трисахариди*), чотирьох і

більше (*олігасахариди*) до багатьох тисяч (*полісахариди*) мономерних залишків цукрів (моносахаридів).

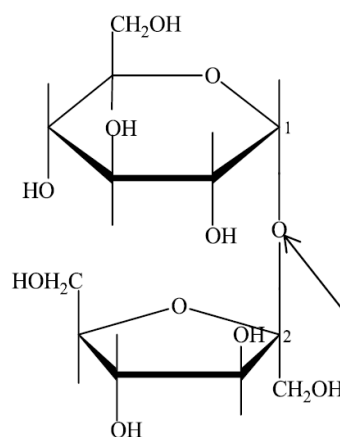
Найважливіше значення в біохімії і фізіології мають такі **дисахариди**, як лактоза, сахароза і мальтоза.

Лактоза (β -D-галактозидо-1,4- α -D-глюкоза) – $C_{12}H_{22}O_{11}$, молочний цукор, складається із залишків β -галактози та глюкози, сполучених 1,4-глікозидним зв'язком (рис. 3.2.б) Лактоза є важливими компонентом харчування людини, входить до складу жіночого (6-7,5 %) та коров'ячого (близько 4-5 %) молока. Важливу роль відіграє у виробництві молочних продуктів. Під дією різних мікроорганізмів, що вводяться в молоко у вигляді заквасок і їхніх ферментів, молочний цукор зброджується, утворюючи в залежності від виду бактерій молочну кислоту, спирт, вуглекислоту, масляну чи лимонну кислоти і інші сполуки. З лактози отримують лактозу – цінний препарат для лікування кишкових розладів, наприклад, запору.



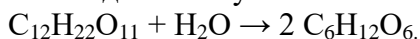
Сахароза (цукроза, буряковий або тростинний цукор) - α -D-глюкозил-1,2- β -D-фруктозид, $C_{12}H_{22}O_{11}$, один із найбільш поширених у природі та практично важливих дисахаридів, складається з залишків фруктози та глюкози, міститься в стеблах, коренях, бульбах та плодах рослин (рис. 3.2.а). У харчуванні людини найбільше значення має сахароза, яка в значних концентраціях утворюється в цукровому буряку (вміст 12-20 %) та цукровій тростині (вміст 14-26 %). Сахароза є основним компонентом харчового цукру. Сахароза – цінний харчовий продукт. Її використовують у харчовій та мікробіологічній промисловості для одержання спиртів, лимонної та молочної кислот, поверхнево-активних речовин. Ферментацією цукрози виробляється значний обсяг етилового спирту.

Сахароза



Залишки молекули α - глюкози та β - фруктози, сполучені(1→2)-О-глікозидним зв'язком

Мальтоза (солодовий цукор) - α -D-глюкозил-1,4- α -D-глюкоза, $C_{12}H_{22}O_{11}$, дисахарид, що складається із залишків двох молекул глюкози. Мальтоза утворюється в травному каналі людини при дії на харчовий крохмаль ферменту β -амілази, в виробництві пива під дією амілази солоду. Міститься у великих кількостях в пророслих зернах (солоді) ячменю, жита та інших зернових; виявлено також у помідорах, в пилюку та нектарі ряду рослин. При гідролізі мальтози утворюються дві молекули глюкози:



Цей процес відіграє велику роль в харчовій технології при бродінні тіста як джерело збродуваних цукрів.

Окрім зазначених дисахаридів, до організму людини у складі рослинних продуктів харчування можуть надходити трисахарид *рафіноза* з цукрового буряка та інших рослин, а також тетрасахарид *стахіоза*.

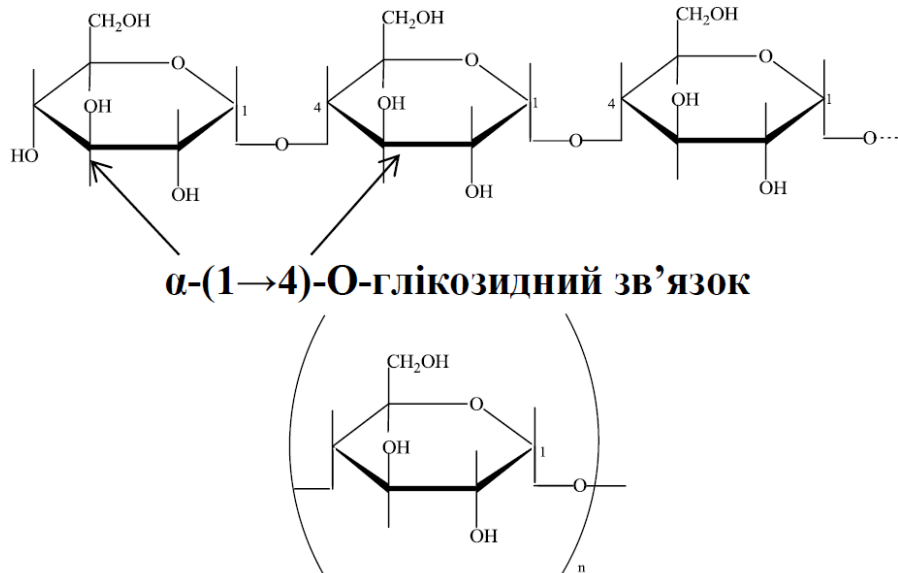
Полісахариди – складні вуглеводи, які за хімічною структурою є полімерами, побудованими із залишків багатьох тисяч молекул моносахаридів та їх похідних, об'єднаних за допомогою реакції поліконденсації. За особливостями хімічної будови ці сполуки поділяються на *гомopolісахариди* та *гетерopolісахариди*.

Гомopolісахариди – складні вуглеводи, мономерами яких є залишки однакових моносахаридів (найчастіше глюкози) або їх похідних. Гомopolісахариди поділяються на вуглеводи тваринного (глікоген, хітин), рослинного (крохмаль, клітковина, інулін, пектини) та мікробного (декстран) походження.

Гетерopolісахариди – складні вуглеводи, утворені з різних за хімічною структурою мономерів – похідних гексоз.

Крохмаль – рослинний гомopolісахарид, що складається з двох фракцій – *амілози* та *амілопектину*, які становлять 15-20% та 80-85% від загальної маси крохмалю, відповідно.

Амілоза – лінійний полісахарид, молекули якого містять від 200 до 1000 мономерів (залишків глюкози); молекулярна маса амілози – 40-160 кД. У складі амілози мономерні сполучені α -1,4-глікозидними зв'язками. Гомopolімери амілози формують спіральні структури, кожен оберт яких включає шість молекул глюкози. Специфічна кольорова реакція на крохмаль із йодом (синє забарвлення) зумовлена включенням молекул йоду в молекулярні канали в середині спіралей амілози.



α -(1→4)-О-глікозидний зв'язок

Мономерна ланка

Амілопектин – розгалужений полісахарид з молекулярною масою від 1 до 6 МДа. Головний ланцюг амілопектину утворений α -1,4-глікозидними зв'язками; розгалуження формуються α -1,6-глікозидними зв'язками. Між точками розгалужень містяться 20-30 глікозидних мономерів.

Крохмаль є основним джерелом резервної енергії в рослинних клітинах, що утворюється внаслідок фотосинтезу і відкладається в коренях, бульбах і насінні. Крохмаль – головний вуглевод в харчуванні людини, який міститься в значних кількостях у хлібних злаках, картоплі, бобових рослинах.

Глікоген – гомополісахарид тваринного походження з молекулярною масою близько 100 МДа. За хімічною структурою глікоген близький до амілопектину крохмалю (інколи його називають “тваринним крохмалем”), але має більш розгалужені молекули. Лінійні відрізки основного ланцюга глікогену вміщують 6-12 залишків молекул глюкози, що з'єднані α -1,4-глікозидними зв'язками; розгалуження формуються за рахунок α -1,6-глікозидних зв'язків.

Глікоген утворює внутрішньоклітинні гранули – депо метаболічної енергії, в яких резервується надлишок глюкози, що надходить з їжею. Найбільша кількість глікогену в організмі людини міститься в печінці (2-5%) та хребцевих м'язах (0,5-2%).

Целюлоза (клітковина) – гомополісахарид, який є головним структурним компонентом клітинних стінок рослин. До складу целюлози входить більше 50% усього органічного вуглецю; деревина складається з целюлози приблизно наполовину, а бавовна є майже чистою целюлозою. Молекули целюлози – нерозгалужені ланцюги, що складаються із залишків молекул глюкози, сполучених β -1,4-глікозидними зв'язками. Макромолекулярний ланцюг целюлози утворюється з 2500-12000 молекул глюкози, молекулярна маса 1-2 МДа. У травному каналі людини целюлоза не розщеплюється.

Крім целюлози, з їжею до травного каналу людини потрапляють і інші рослинні гомо- і гетерополісахариди, що формують *харчові волокна*. До цих полісахаридів належать *геміцелюлоза* (полімер молекул D-ксилози, сполучених β (1→4)-зв'язками, що можуть також містити залишки інших моносахаридів – арабінози, галактози, манози та ін.) та *пектини*.

Лігнін – рослинний полісахарид, що складається з похідних фенілпропану, переважно - коніферилового спирту. Один з головних компонентів рослинних тканин, другий за відсотковим вмістом після целюлози (в дерев'янистих тканинах рослин його вміст становить 18-30%).

Декстран – 1,6- α -глюкан, гомополісахарид із розгалуженою будовою, утворюється у дріжджів та бактерій. Основний тип зв'язку в молекулах декстрану – α -1,6-глікозидний;

розгалуження утворюються за рахунок α -1,2, α -1,3 або α -1,4-зв'язків. Декстрини використовуються в клінічній медицині як плазмо- і кровозамінники (фармацевтичні препарати Поліглюкін, Реополіглюкін), в біохімічній промисловості в якості адсорбенту, в біохімічній лабораторній практиці як гелі для хроматографічного розділення макромолекул (гель-хроматографія), декстрановий гель - сефадекс.

Хітин – тваринний гомополісахарид, що утворений із залишків N-ацетилглюкозаміну, об'єднаних β -1,4-глікозидними зв'язками. Хітин досить поширений у живій природі. Подібно до клітковини рослин, хітин утворює міцні нерозгалужені ланцюги, що є основою поверхневого панцера комах та ракоподібних, входить до складу клітинних стінок міцелію грибів.

Інулін – рослинний гомополісахарид, має лінійну будову. Молекула інуліну складається із залишків β -D-фруктози (фруктозан), сполучених 2,1-глікозидними зв'язками; молекулярна маса інуліну не перевищує 6 кД. Інулін міститься в бульбах деяких рослин (жоржина, топінамбур), використовується у фізіологічних дослідженнях для визначення швидкості клубочкової фільтрації в нирках, при дослідженнях водно-сольового обміну й сечоутворення.

Агар – рослинний гетерополісахарид, суміш агарози й амілопектину. Головний полісахарид (агароза) складається з послідовних залишків D-галактози і 3,6-ангідрогалактози, агаропектин має більш складну будову (D-галактоза, 3,6-ангідрогалактоза, уронові кислоти, сульфат). Агар міститься в деяких червоних морських водоростях, це один з кращих природних гелеутворювачів. Препарат агар-агар використовується в мікробіології, біохімії, медицині, харчовій промисловості.

Пектини (пектинові речовини) – гомополісахариди, основою структури яких є полігалактуронова (пектова) кислота, яка складається із залишків α -D-галактуронової кислоти, що з'єднані 1,4-глікозидними зв'язками. Пектини синтезуються у вищих рослинах та деяких водоростях і надходять в організм людини з рослинними продуктами харчування. Пектини використовуються для виготовлення гелів і є основою ряду лікарських препаратів. Кальцієві солі полігалактуронових кислот використовують при виготовленні фруктових желе.

Медичне значення мають також *геміцелюлози* та *камеді* – рослинні гетерополісахариди з розгалуженою будовою, які містять у своєму складі залишки моносахаридів (D-галактози, D-глюкози, L-арабінози, L-рамнози тощо) та уронових кислот. У фармацевтичній практиці як емульгатор при виготовленні лікарських емульсій застосовується *аравійська камідь* (*гуміарабік*), до складу якої входять залишки L-арабінози, D-галактози, D-глюкуронової кислоти та метилпентоз.

Обмін вуглеводів

В організм вуглеводи надходять у вигляді складних полісахаридів (наприклад крохмаль), дисахаридів і моносахаридів. Вуглеводи легко перетравлюються і добре засвоюються організмом (на 98-99%). В органах травлення під впливом ферментів вуглеводи їжі розщеплюються на глюкозу, яка всмоктується в кров. Хоча при окисненні 1 г глюкози вивільняється така сама кількість енергії, що й при окисненні білків — 17,2 кДж, але їхня велика енергетична цінність зумовлена значною швидкістю: перетравлювання (починаючи з ротової порожнини), усмоктування в кров, засвоєння клітиною, де глюкоза легко розкладається у мітохондріях, вивільняючи енергію у формі АТФ. Тому вуглеводи є основним джерелом енергії. У клітинах і тканинах вуглеводи розщеплюються на воду і вуглекислий газ.

Загальна щоденна потреба організму людини у вуглеводах — 350-500 г. Найбільше вуглеводів у рослинній їжі, менше — у продуктах тваринного походження. Багато вуглеводів надходить до організму з цукром. Цукор у травному тракті розщеплюється до глюкози, яка всмоктується в кров. Рівень глюкози у грудних дітей становить 0,07-0,09%, у 12-14 років — 0,09-0,12%, тобто досягає норми дорослої людини. Зниження рівня глюкози в крові нижче норми називається *гіпоглікемією*, збільшення його вище норми — *гіперглікемією*. Надлишок глюкози в крові виводиться з сечею.

У підтриманні постійної кількості глюкози у крові основну роль відіграють печінка і внутрішньосекреторна діяльність підшлункової і надниркових залоз. Зайва глюкоза, що надійшла в організм, затримується в печінці і під дією ферменту підшлункової залози інсуліну

перетворюється в глікоген, який відкладається в печінці (і частково в м'язах та інших тканинах) про запас. Кількість глюкози у крові зменшується під час м'язової роботи та при недостатньому надходженні її в організм. У цих випадках глікоген печінки під впливом гормону підшлункової залози глюкагону (або адреналіну, гормону надниркових залоз) перетворюється в глюкозу, яка надходить в кров. Тобто сталість рівня глюкози крові забезпечується взаємоузгодженістю вироблення двох гормонів підшлункової залози — інсуліну та глюкагону. У разі запалення підшлункової залози зменшується або припиняється вироблення інсуліну і виникає тяжке захворювання — цукровий діабет. Людина відчуває постійну спрагу, у неї збільшується й частішає сечовиділення, шкіра свербить, на ній з'являються гнояки. Через постійне підвищення вмісту глюкози у крові та тканинах створюються сприятливі умови для розвитку різних хвороботворних мікроорганізмів. У хворих на цукровий діабет виникають гнійні запалення легенів, печінки, нирок тощо. При діабеті частина зайвої глюкози перетворюється на жир, спричинюючи ожиріння. Надлишковий жир перетворюється на холестерин, що відкладається в артеріях, і сприяє розвитку атеросклерозу. У разі закупорювання артерій кінцівок може трапитися їхнє змертвіння — гангрена, від якої людина гине. Закупорювання вінцевих артерій серця призводить до інфаркту міокарда, а мозкових — до мозкового інсульту, паралічу і нерухомості. Коли ж закупориться артерія очного дна, людина сліпне.

Вуглеводний обмін порушується, якщо зловживати солодощами, особливо за малорухливого способу життя, коли надлишок глюкози не реалізується. Запобігти цукровому діабету можна, якщо не зловживати солодощами, не переїдати, постійно займатися фізичними вправами.

При недостатньому надходженні вуглеводів з їжею вони утворюються в організмі з жирів і білків.

Значення глюкози для організму не вичерпується її роллю як джерела енергії. Вона входить до складу цитоплазми, а отже, необхідна для утворення нових клітин, особливо в період росту. Входять вуглеводи і до складу нуклеїнових кислот. Вуглеводи мають велике значення для нормального функціонування нервової системи. При різкому зниженні кількості глюкози у крові бувають різкі розлади діяльності нервової системи. Настають судоми, марення, втрата свідомості, порушення діяльності серця, зниження температури тіла. Досить такому хворому ввести у кров глюкозу або дати поїсти цукру, як усі порушення зникають.

У дітей обмін вуглеводів здійснюється дуже інтенсивно, що пояснюється високим загальним рівнем обміну речовин в дитячому організмі. Тут вуглеводи виконують не тільки роль основного джерела енергії, а й важливу пластичну роль у формуванні клітинних оболонок, речовини сполучної тканини

5. Хімія ліпідів

Класифікація ліпідів, фізико-хімічні властивості ліпідів

Ліпіди (жири) – клас біоорганічних сполук, характерною ознакою яких є нерозчинність у воді й інших полярних розчинниках та здатність до розчинення в неполярних рідинах (гідрофобні властивості). Неполярні розчинники (діетиловий ефір, тетрахлорметан, хлороформ, спирт, бензин тощо) використовують для екстрагування ліпідів із біологічних об'єктів (крові, тканин тощо). Назва «ліпіди» походить від грецького слова «ліпос», тобто жир, ліпіди входять до складу всіх живих клітин і відіграють важливу роль у біохімічних процесах.

В організмі людини та тварин ліпіди виконують важливі функції як акумулятори та постачальники енергії, компоненти структури клітин, особливо біологічних мембран; певні класи ліпідів є фізіологічно активними речовинами (вітаміни, гормони).

За своєю хімічною структурою більшість ліпідів є складними ефірами вищих карбонових (жирних) кислот та спиртів (гліцерину, сфінгозину, холестерину тощо). До складу багатьох класів ліпідів (складних ліпідів) входять також залишки фосфорної кислоти, азотистих основ (колеміну, холіну), вуглеводів тощо.

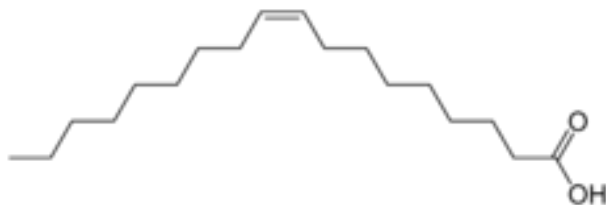
Жирні кислоти. Найважливішою ознакою, що визначає фізико-хімічні та біологічні властивості ліпідів, є їх жирнокислотний склад. Кількість вуглецевих атомів та, відповідно, довжина вуглеводного ланцюга, ступінь насиченості жирних кислот, що входять до складу природних ліпідів (нейтральних жирів, фосфоліпідів, сфінголіпідів тощо) обумовлюють їх консистенцію (рідкі, тверді) та поверхневу активність, зокрема, здатність до утворення комплексів з білками і, відповідно, утворення міцел, бішарів, транспортних ліпопротеїнів, ліпідного матриксу біологічних мембран.

Температура плавлення жирів, як і їх консистенція, залежить від превалювання в жирі тих чи інших жирних кислот. Температура плавлення жиру тим вища, чим більше в ньому насичених жирних кислот і вище молекулярна маса цих кислот. Ненасичені жирні кислоти – речовини в рідкому стані. Чим більше ненасичених кислот і ступінь їх ненасиченості (кількість подвійних зв'язків), тим нижча температура плавлення жиру. Наприклад, температура плавлення баранячого жиру (44-55 °С), що містить до 62% насичених кислот, вища ніж у свинячого (28-40 °С), в складі якого насичених кислот лише 47%.

До складу ліпідів організму людини і вищих тварин входять жирні кислоти з парним числом атомів Карбону, зазвичай від 12 до 24 атомів С, але переважно від C₁₆ до C₂₀ (вищі жирні кислоти). До складу ліпідів мікроорганізмів можуть входити жирні кислоти з непарним числом вуглецевих атомів, в тканинах ссавців подібні ліпіди трапляються лише в невеликих кількостях.

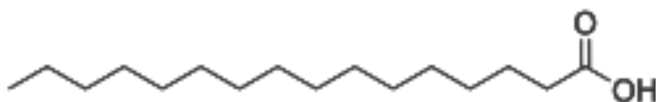
В організмі людини жирні кислоти знаходяться частково у вільному, тобто не естерифікованому стані (так звані *не естерифіковані жирні кислоти* - НЕЖК). Вони містяться головним чином у плазмі крові та входять до складу складних структурних ліпідів і тригліцеридів жирової тканини як резерв енергетичного матеріалу.

Серед насичених жирних кислот у жирах людини переважає пальмітинова кислота (C₁₅H₃₁COOH), серед ненасичених – олеїнова (C₁₇H₃₃COOH), яка складає до 55-60% від загальної кількості головних жирних кислот, що входять до складу триацилгліцеридів жирової тканини людини.



Олеїнова кислота (цис-9-октадеценава кислота, C₁₈H₃₄O₂)

Важливо, що ненасичені карбонові кислоти входять до складу природних ліпідів тільки у цис-формі (див. рис.) Транс-форма може з'явитися тільки внаслідок промислової переробки жирів і не є природною для організму людини. Жири (наприклад маргарин), у складі яких є залишки ненасичених жирних кислот у транс-формі, називаються транс-жирами. Деякі дієтологи вважають, що вони «засмічують» організм.



Пальмітинова кислота (гексадеканова кислота, C₁₆H₃₂O₂)

Таблиця – Найпоширеніші природні жирні кислоти

Кодове позначення	Структура	Систематична назва	Тривіальна назва
Насичені кислоти			
C _{12:0}	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	n-Додеканова	Лауринова

C _{14:0}	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	<i>n</i> -Тетрадеканова	Міристинова
C _{16:0}	CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH	<i>n</i> -Гексадеканова	Пальмітинова
C _{18:0}	CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH	<i>n</i> -Октадеканова	Стеаринова
C _{20:0}	CH ₃ (CH ₂) ₁₈ COOH	<i>n</i> -Ейкозанаова	Арахінова
C _{22:0}	CH ₃ (CH ₂) ₂₀ COOH	<i>n</i> -Докозанаова	Бегенова
C _{24:0}	CH ₃ (CH ₂) ₂₂ COOH	<i>n</i> -Тетракозанаова	Лігноцеринаова
Ненасичені моноснові кислоти			
C _{16:1}	CH ₃ (CH ₂) ₅ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	<i>цис</i> -Гексадецен-10-ова	Пальмітоолеїнова
C _{18:1}	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₇ COOH	<i>цис</i> -Оксадецен-9-ова	Олеїнова
C _{22:1}	CH ₃ (CH ₂) ₇ CH=CH(CH ₂) ₁₁ COOH	<i>цис</i> -Докозен-13-ова	Ерукова
Ненасичені полієнові кислоти			
C _{18:2}	CH ₃ (CH ₂) ₄ (CH=CHCH ₂) ₂ (CH ₂) ₆ COOH	<i>цис,цис</i> -Октодекадієн-9,12-ова	Лінолева
C _{18:3}	CH ₃ CH ₂ (CH=CHCH ₂) ₃ (CH ₂) ₆ COOH	<i>цис,цис,цис</i> -Октодекатрієн-9,12,15-ова	Ліноленова
C _{20:4}	CH ₃ (CH ₂) ₄ (CH=CHCH ₂) ₄ (CH ₂) ₂ COOH	<i>цис,цис,цис,цис</i> -Ейкозатетраєн-5,8,11,14-ова	Арахідонова

Таблиця – Вміст основних жирних кислот в триацилгліцерилах жирової тканини людини

Жирні кислоти	Структура	Вміст, %
Міристинова	C _{14:0}	3
Пальмітинова	C _{16:0}	20
Стеаринова	C _{18:0}	5
Пальмітолеїнова	C _{16:1} Δ9	5
Олеїнова	C _{18:1} Δ9	55
Лінолева	C _{18:2} Δ9,12	10
Арахідонова	C _{20:4} Δ5,8,11,14	0,2

Таблиця – Вміст насичених та ненасичених жирних кислот (% від загального вмісту) у деяких тваринних і рослинних жирах

Харчовий жир	Насичені жирні кислоти	Ненасичені жирні кислоти		
		мононенасичені	поліненасичені	разом
Вершкове масло	60	36	4	40
Свиний жир	59	39	2	41
Яловичий жир	52	45	3	48
Курачий жир	38	44	18	62
Оливкова олія*	8-25	55-83	3,5-22	до 90
Соняшникова олія*	6-12	28-46	47-62	до 90
Кукурудзяна олія	15	31	54	85
Соєва олія	14	34	52	86

* - ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТУ

Прості ліпіди – ліпіди, що при гідролізі утворюють спирт та жирні кислоти.

Ацилгліцероли (ацилгліцериди) – ліпіди, що є складними ефірами спирту гліцеролу (гліцерину) та жирних кислот (рис. 5.1). Ацилгліцероли (зокрема *триацилгліцероли*, або *тригліцериди*) мають емпіричну назву – *нейтральні жири*. Тригліцериди є основною складовою частиною адипоцитів жирової тканини людини і тварини, являючи собою молекулярну форму зберігання вищих жирних кислот – найбільш енергоємного метаболічного палива. Природні тригліцериди є змішаними ліпідами, тобто до їх складу входять залишки різних жирних кислот. Фізичні властивості тригліцеридів залежать від жирнокислотного складу: чим більше вони містять залишків довгих ненасичених жирних кислот, тим більша в них температура плавлення, і навпаки — чим більше коротких ненасичених, тим вона менша. Загалом рослинні жири (олії) містять до 90% ненасичених жирних кислот, і тому за кімнатної температури перебувають у рідкому агрегатному стані. Тваринні жири, навпаки містять в основному насичені жирні кислоти (наприклад коров'яче масло складається в основному із тристеарину), тому за кімнатної температури тверді.

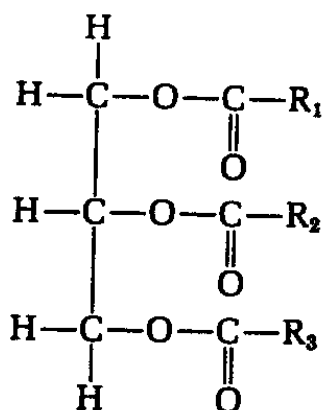


Рисунок 5.1 – Триацилгліцерол. R₁, R₂, R₃ - залишки жирних кислот

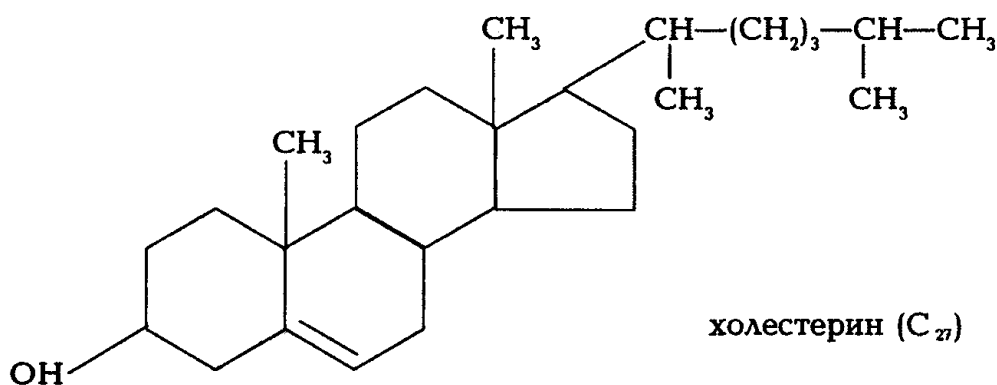


Рисунок 5.2 – Схематична будова молекули холестерину

Табл. - Кількісні характеристики тригліцеридів

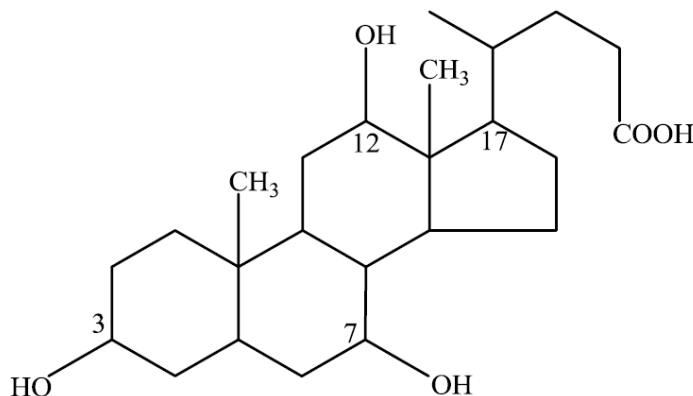
Назва характеристики	Визначення
Кислотне число	Кількість міліграмів КОН, яка витрачається на нейтралізацію 1 г негідролізованого* жиру. Характеризує свіжість жиру, теоретично кислотне число свіжого жиру дорівнює нулю.
Число омилення	Кількість міліграмів КОН, яка витрачається на взаємодію з 1 г гідролізованого* жиру. Чим більше значення числа омилення, тим більше вміст кислот з невисокою молекулярною масою (масляної,

	капронової тощо).
Йодне число	Кількість грамів I_2 , яке може приєднатися до 100 г жиру. Характеризує вміст ненасичених жирних кислот у складі жиру: чим більше значення йодного числа, тим більший вміст ненасичених жирних кислот

* - гідроліз жирів це їх розщеплення за допомогою кислоти або лугу до гліцерину і жирних кислот.

Стероїди – це група природних ліпідів, що містять у своєму складі циклопентанпергідрофенантренове ядро. Зокрема до цього класу сполук належать спирти із гідроксильною групою у третьому положенні – стероли (стерини) та їх естери із жирними кислотами – стериди. Найпоширенішим стеролом у тварин є холестерол, або інша назва холестерин (рис. 5.2). Він входить як структурний ліпід до складу плазматичних мембран та є в організмі людини попередником в синтезі інших стеринів та їх похідних (стероїдів). Інші стероїди виконують безліч важливих функцій в різних організмів: частина із них є гормонами (стероїдні гормони кори надниркових залоз, чоловічі та жіночі статеві гормони), вітамінами (вітамін D), емульгаторами (жовчні кислоти) тощо.

Жовчні кислоти – похідні холестерину, в яких у положенні C-17-аліфатичний замісник містить 5 атомів Карбону та кінцеву групу. Жовчні кислоти знаходяться в жовчі людини і тварин, виробляються печінкою з холестерину, наприклад холева кислота.



Холева кислота

Цериди (воски) – прості ліпіди, які є складними ефірами вищих жирних кислот та високомолекулярних спиртів, зокрема цетилового ($C_{16}H_{33}OH$) та мірицилового ($C_{30}H_{61}OH$). До восків тваринного походження належать бджолиний віск, спермацет, ланолін, що використовуються у фармації для виготовлення мазей, кремів, у виробництві косметичних засобів. Хоча деякі види, наприклад певні планктонні мікроорганізми, використовують воски як форму зберігання енергії, зазвичай вони виконують інші функції, зокрема забезпечення водонепроникності покривів як тварин так і рослин.

Складні ліпіди – ліпіди, при гідролізі яких вивільнюється спирт (гліцерол, сфінгозин, інозит), а також фосфат, аміносполуки, вуглеводи. Складні ліпіди є полярними, амфифільними сполуками і більшість із них виконує структурні функції, входячи до складу біологічних мембран.

Фосфоліпіди. Численну групу складних ліпідів складають фосфоліпіди, які, залежно від спирту, що входить до їх складу, поділяються на гліцерофосфоліпіди та сфінгофосфоліпіди.

Гліцерофосфоліпіди (фосфогліцериди) – складні ефіри гліцеролу та вищих жирних кислот, що є похідними фосфатидної кислоти, етерифікованої аміноспиртами холіном, етаноламіном (коламіном) і оксіамінокислотою серином. Фосфодієфірний зв'язок у складі гліцерофосфоліпідів утворений гідроксильними групами холіну (фосфатидилхоліни, або лецитини), етаноламіну (фосфатидилетаноламіни, або кефаліни) або серину (фосфатидилсерини).

Сфінгофосфоліпіди – складні ефіри багатоатомного аміноспирту *сфінгозину* та вищих

жирних кислот, що можуть також містити залишки холіну, фосфорної кислоти. N-ацильні похідні сфінгозину та жирних кислот мають назву *церамідів*. Сфінгофосфоліпіди є фосфорними ефірами церамідів та аміноспиртів – холіну, етаноламіну, серину. В нервовій тканині людини та вищих тварин присутні *сфінгомієліни* (N-ацил-сфінгеніл-фосфохоліни).

Гліколіпіди – сполуки, в яких ліпідна частина ковалентно зв'язана з вуглеводною. Гліколіпіди є складними ефірами вищих жирних кислот та гліцеролу або сфінгозину і містять у своєму складі вуглеводний компонент (зокрема, глюкозу, галактозу та їх похідні або олігосахаридну групу).

Ліпопротеїни – комплекси ліпідів різної хімічної будови з білками. В утворенні ліпопротеїнів беруть участь нековалентні зв'язки та фізико-хімічні взаємодії (водневі, іонні, ван-дер-ваальсові, гідрофобні). Велике значення в біохімії мають ліпопротеїни, в складі яких ліпіди знаходяться в плазмі крові людини і тварин, та ліпопротеїни, що є інтегральними компонентами біологічних мембран.

Похідними ліпідів є каротиноїди, терпеноїди, жиророзчинні вітаміни тощо.

Терпени класифікують за різними ознаками, а саме: за кількістю ізопренових фрагментів, за наявністю або відсутністю циклу, за кількістю циклів у молекулі. У природі терпени зустрічаються у складі **ефірних олій**, які є леткими та повністю випаровуються, не залишаючи жирних плям. Ефірні олії є джерелами запахів різноманітних рослин, наприклад, аромат суниць зумовлений вмістом в ефірній олії близько 50 терпенів.

Лимонен і ментан є найважливішими представниками моноциклічних терпенів. **Лимонен** є компонентом апельсинової, бергамотної, кминної та селерової олії, зумовлює запах лимонної олії. **Ментан** – рідина, розчинна у олії, нерозчинна у воді, його похідним є **ментол**, що міститься у м'ятній олії, є легкою кристалічною речовиною з сильним м'ятним запахом, холодить ротову порожнину, викликає характерне почуття холоду та поколювання при втиранні у шкіру, розчинний у етанолі, обмежено розчинний у воді. Застосовується як слабкий антисептичний, заспокійливий та знеболюючий засіб у складі цілого ряду лікарських препаратів (бороментол, пектусин тощо), 30% розчин ментолу у його естері з ізовалеріановою кислотою – ментилізовалерінат – використовують під час стенокардії як судино звужуючий препарат під назвою **валідол**.

Камфора – біциклічний кетон, воскоподібна, легкозаймиста, біла або прозора тверда кристалічна речовина з сильним ароматним запахом, летка, розчинна у етанолі, малорозчинна у воді. Це терпеноїд з хімічною формулою $C_{10}H_{16}O$. Вона міститься у деревині камфорного лавра (*Cinnamotum camphora*), великого вічнозеленого дерева, яке росте в Азії (зокрема, на островах Суматра, Борнео і на Тайвані), а також борнеокамфорного дерева (*Dryobalanops Aromatica*), гіганта лісів Борнео. Вона також трапляється у деяких інших споріднених дерев родини лаврових, особливо *Ocotea usambarensis*. Висушене листя розмарину (*Rosmarinus officinalis*) з родини Глухокропівових містить до 20% камфори. Її також можна одержати синтетичним шляхом зі скипидару. Вона цінується за її запах, і використовується, як інгредієнт для приготування їжі (в основному в Індії), як рідина для бальзамування, а також у релігійних церемоніях. Основним джерелом камфори в Азії є камфорний базилік. З лікувальною метою розчини камфори вживають зовнішньо як антисептичний та місцево подразнюючий засіб, підшкірно – стимулюють дихальний та судиноруховий центри, обмінні процеси в серцевому м'язі, перешкоджають утворенню тромбів тощо. Бром камфору вживають як заспокійливий засіб при захворюваннях центральної нервової системи.

Каротини – природні пігменти з формулою $C_{40}H_{56}$ (каротин, лікопен). Всі ізомери каротину є попередниками вітамінів групи А (провітамінами). Багаті на каротин корені моркви (в деяких сортах 31 мг%), звідси його назва, крім того з них він був вперше виділений. Також багато каротину містять такі плоди, як шипшина, обліпиха, смородина, горобина. Розчинний у жирах. З декількох ізомерів каротину для людини має найбільше значення β -каротин, в організмі він є найактивнішим. Його значення полягає в тому, що він є попередником вітаміну А, також доведені його властивості як антиоксиданту. Якщо людиною споживається велика кількість каротину, частина його утворює необхідну кількість вітаміну А, частина що залишилась, діє у клітинах як антиоксидант, на рівні клітинних мембран він нейтралізує дію

вільних радикалів, що утворюються у організмі, й можуть призвести до виникнення злоякісних пухлин. Вітамін А забезпечує нормальний фізіологічний стан шкіри, також він стимулює утворення слизу епітеліальними клітинами слизових оболонок (органи дихання, кишечник, сечовивідні канали). Крім того, він відіграє важливу роль у функціонуванні органів зору (є компонентом світлочутливого білка сітківки ока). Лікопен – також могутній антиоксидант. Лікопен надає томатам червоний колір. Епідеміологічними дослідженнями встановлено, що для людей з високим показником лікопену в крові ризик захворювань на деякі види раку та серцево-судинні захворювання знижується. Найкраще лікопен засвоюється з термічно оброблених продуктів: томатний сік, соуси та кетчуп є кориснішими, ніж салат із помідорів. Схожими властивостями наділені: рожевий грейпфрут, кавун, гострий червоний перець, папайя.

Біологічна роль ліпідів в організмі

1. Резервна або енергетична (тригліцериди). У разі повного окиснення 1 г жиру вивільнюється близько 38,9 кДж (9,3 ккал) енергії. За рахунок жирів, що надходять із їжею, забезпечується в середньому біля 25-35 % енергії необхідної людині на добу.

2. Пластична (фосфоліпіди та інші ліпоїди, кардіоліпін). Вони у вигляді ліпопротеїнових комплексів входять до складу біологічних клітинних мембран та субклітинних структур (ядер, мітохондрій, лізосом, ендоплазматичного ретикулуму), активують ряд мітохондріальних ферментів. Наприклад, у ядрах клітин печінки, серця і деяких інших органів міститься 15-16 % ліпідів (в перерахунку на суху масу), у мітохондріях – 21-30 %, Нерозчинні у воді ліпіди зумовлюють міцність структур, до складу яких вони входять. Фосфоліпіди входять до складу нервової тканини.

3. Захисна (ізоляційна). Утворюють прошарок під шкірою та навколо внутрішніх органів і таким чином захищають їх від механічних ушкоджень, переохолодження тощо.

4. Регуляторна. Багато біологічно активних речовин (статеві гормони, кортикостероїди, простагландини та ін.) мають ліпідну природу. З ліпідами в організм надходять жиророзчинні вітаміни А, D, Е, К, F. Хоча вітамін D може утворюватися і в організмі з стероїдів під дією УФ-світла. З фосфоліпідів утворюється ацетилхолін – основний передавач (медіатор) нервового збудження.

5. Метаболічна. Ліпіди є основним джерелом ендогенної, метаболічної води. У разі окиснення 100 г жиру утворюється 101,1 г води.

Деякі ліпіди виконують в організмі спеціальні функції. Стероїди та деякі метаболіти фосфоліпідів виконують сигнальні функції в якості гормонів, медіаторів та вторинних переносників. Окремі ліпіди виконують роль «якоря», що утримує на мембрані білки та інші сполуки. Деякі ліпіди є кофакторами, що беруть участь у ферментативних реакціях, наприклад, у згортанні крові або трансмембранному переносі електронів. Світлочутливий каротиноїд ретиналь відіграє центральну роль у процесі зорового сприйняття.

Добова потреба організму дорослої людини в жирах становить 80-100 г, у тому числі 25 г рослинних, біля 5-6 г фосфатидів і 0,3-0,6 г холестерину. З ліпідами надходять незамінні жирні кислоти, які не утворюються в організмі людини, це зокрема олеїнова (моно ненасичена) та лінолева, ліноленова, арахідонова (поліненасичені). Ліноленова кислота є прикладом ω -3 жирних кислот, в яких подвійний зв'язок розміщений біля третього атома Карбону, починаючи з кінця карбонового ланцюгу. Лінолева та арахідонова кислоти належать до ω -6 жирних кислот, в яких подвійний зв'язок розміщений біля шостого атома Карбону, починаючи з кінця карбонового ланцюгу.

Дефіцит у продуктах незамінних поліненасичених жирних кислот є однією з причин порушення обміну холестерину, розвитку атеросклеротичного процесу. Тому, переважна частина дієтологів вважає, що більш корисним є включення в харчовий раціон людини саме рослинних жирів і зменшення частки жирів тваринного походження. Екзогенний холестерин надходить із продуктами, а ендогенний синтезується в організмі (в печінці, нирках, надниркових залозах, артеріальній стінці) в кількості 0,8-2,0 г за добу.

Обмін ліпідів

Жири харчових продуктів розщеплюються в шлунку й кишечнику на гліцерин і жирні кислоти. При проходженні через клітини ворсинок тонкої кишки з гліцерину і жирних кислот знову синтезується жир, але вже специфічний для організму. Він надходить в лімфу і по лімфатичній грудній протоці — в кров. З кров'ю жир потрапляє до всіх органів і тканин. Надлишок жиру відкладається у вигляді запасного в підшкірній клітковині, сальниках, навколо внутрішніх органів, які мають значення жирового депо організму. Підшкірний жир перешкоджає посиленій віддачі тепла, а принирковий жир охороняє нирку від ударів тощо.

Жири використовуються як пластичний матеріал: вони є обов'язковою складовою частиною клітинних мембран, цитоплазми, ядро. Жири потрібні також для утворення в організмі антитіл, вони входять і до складу вітамінів. Крім того, жири захищають травний тракт дитини від пошкоджень грубою їжею, вони необхідні для формування калових мас. З калом виводиться 5-10% не використаних організмом лишків жиру.

Запасний жир мобілізується організмом при голодуванні і використовується як джерело енергії: при розпаді 1 г жиру в організмі вивільняється енергії у два рази більше (39 кДж), ніж при розпаді такої ж кількості білків або вуглеводів. У цьому разі жир окиснюється до кінцевих продуктів розпаду — вуглекислого газу і води. Частина запасного жиру може надходити в кров, розщеплюватись ферментами на гліцерин і жирні кислоти і доноситись кров'ю до печінки, де гліцерин перетворюється у вуглевод — глікоген (що свідчить про тісний зв'язок між жировим і вуглеводним обміном).

Жир в організмі може утворюватися з вуглеводів і білків. Якщо, наприклад, повністю виключити жир із їжі, він все ж таки утворюється і в значній кількості може відкладатися в організмі. Але, незважаючи на це, жир повинен бути обов'язковою складовою частиною їжі, особливо для дитини. Нестача жирів у їжі веде до порушення діяльності центральної нервової системи і органів розмноження, знижує стійкість до різних захворювань. Дітям дошкільного і шкільного віку треба давати — 2-2,5 г жиру на 1 кг маси тіла. Добова потреба дорослої людини в жирах становить 1,3-1,5 г на 1 кг маси тіла. Важливо забезпечити не тільки кількість, але і якість жирів. Діти повинні споживати як жири тваринного походження (вершкове масло, вершки, молоко, сало), так і рослинні (соняшникова, кукурудзяна, оливкова олії). З жирами в організм надходять розчинні в них вітаміни (вітамін А, D, Е тощо), які мають для людини життєво важливе значення.

Нейтральні жири в енергетичному відношенні можуть бути замінені вуглеводами. Однак є ненасичені жирні кислоти - лінолева, ліноєнова і арахідонова, які обов'язково повинні міститись в харчовому раціоні людини складає 10-12 г. Ліноєнова і лінолева кислота в значній кількості міститься в рослинних жирах, менше їх - в тваринних жирах. Арахідонова кислота виявляється лише в тваринних жирах. Нейтральні жири, які входять в склад їжі і тканини людини, представлені в основному тригліцеридами, які містять жирні кислоти - пальмітинову і стеаринову, лінолеву і ліноєнову. В нормальних умовах кількість жиру в організмі складає 10-20% тіла людини.

Всмоктування жирів у дітей відбувається інтенсивніше, ніж у дорослих. При грудному вигодовуванні засвоюється до 90% жирів молока, при штучному — 85-90%, у старших дітей жири засвоюються на 95-97%. Для кращого засвоєння жиру в їжі повинно бути також досить вуглеводів, бо при дефіциті вуглеводів відбувається неповне окиснення жирів і у крові накопичуються кислі продукти обміну.

Порушення обміну ліпідів

Патологічні зміни в обміні ліпідів можуть виникати на різних його етапах і пов'язуються із порушеннями:

- 1) процесів перетравлення і всмоктування жирів;
- 2) транспорту ліпідів і переходу їх у тканини;

- 3) обміну ліпідів у жировій тканині (надлишкове або недостатнє їх утворення і відкладення);
- 4) окислювання ліпідів у тканинах;
- 5) проміжного ліпідного обміну;

Порушення перетравлення, і всмоктування жирів спостерігається при:

- 1) дефіциті панкреатичної ліпази, що є причиною порушення розщеплення жиру у верхніх відділах тонкої кишки до жирних кислот, моногліцеридів, гліцерину;
- 2) дефіциті жовчних кислот, що є причиною порушення емульгування жиру та зниження активності панкреатичної ліпази;
- 3) посиленій перистальтиці тонкої кишки та ушкодженні її епітелію, що проявляється порушенням активації панкреатичної ліпази;
- 4) надлишку в їжі іонів Ca та Mg, коли утворюються нерозчинні у воді солі жирних кислот (мила);
- 5) авітамінозах А і В, недостатку холіну, порушенні процесу фосфорилування, що супроводжується гальмуванням всмоктування жиру.

До патологічних станів, які пов'язані із порушенням ліпідного обміну, відноситься одне із самих поширених захворювань – **атеросклероз**. Це хронічне захворювання, яке характеризується відкладанням в інтимі артеріальних судин *p*-ліпопротеїнів з подальшим розвитком сполучної тканини. Атеросклероз мультифакторне захворювання. У його розвитку беруть участь цілий ряд "факторів ризику", що являють собою сукупність внутрішніх і зовнішніх умов, які у багато разів підвищують ймовірність розвитку цього захворювання в людини. До таких факторів належать:

- 1) Тривале психоемоційне напруження, або психоемоційний стрес, коли в крові наростає рівень катехоламінів, які збільшують проникність ендотеліоцитів для β -ліпопротеїнів.
- 2) Спадкова схильність, яка обумовлює розвиток сімейної гіперхолестеремії або низьку активність рецепторів печінки до β -ліпопротеїнів, коли, вони не захоплюються печінкою, а циркулюють у крові що супроводжується розвитком гіпер- β -ліпопротеїнемії гіперхолестеринемії.
- 3) Порушення харчування – вживання їжі багатої холестерином та насиченими жирними кислотами і бідної на ненасичені жирні кислоти (зокрема, недостатнє вживання таких продуктів, як риба, рослинні олії, морська капуста).
- 4) Гормональні порушення, хвороби обміну речовин – атеросклероз часто виникає на тлі попередніх гормональних порушень (цукровий діабет, мікседема, зниження функції статевих залоз) або хвороб обміну речовин (подагра, ожиріння).
- 5) Вік – з віком проявляється більша схильність до ангіоспазму, судини стають більш чутливими до вазоконстрикторів. Є дані, що за кожні 10 років синтез вазодилаторів знижується на 3%. Ангіоспазм є причиною ушкодження ендотелію.
- 6) Стать (чоловіки хворіють в 3-4 рази частіше).
- 7) Артеріальна гіпертензія.
- 8) Інтоксикація – вплив алкоголю, нікотину, наркотичних речовин, інтоксикація бактеріального або хімічного походження.

Усі пізні стадії атеросклерозу анатомічно мають вигляд бляшки, жовтого чи коричневого кольору, поверхня яких виступає у просвіт артерій.

Порушення обміну жирів у жировій тканині частіше всього проявляється розвитком **ожиріння**, яке виникає при патологічному надлишку тригліцеридів в організмі. Розрізняють первинне і вторинне ожиріння.

Первинне ожиріння — це хвороба, в основі якої лежить порушення адипоцитарно-гіпоталамічних інформаційних взаємозв'язків, при яких відбувається встановлення більш високого вихідного рівня точки масостату (ліпостату). Ліпостат – умовна назва системи, яка контролює постійність ваги тіла. Центральною контролюючою ланкою у цій системі є гіпоталамус. Ліпостатичний гомеостаз забезпечується шляхом прямих і зворотних сигнальних взаємодій між гіпоталамусом і жировою тканиною (гормони), а також між гіпоталамусом і шлунково-кишковим трактом з його ентериновою гормональною системою.

Вторинне ожиріння – це синдром, який виникає в організмі при розвитку тих чи інших розладів, які підсилюють накопичення і послаблюють темпи використання тригліцеридів на фоні початково нормальних сигнальних взаємовідношень між адипоцитами та гіпоталамусом.

В середньому, ожиріння вкорочує життя людини на 8-10 років. Французи говорять, що людина рие собі могилу ложкою та виделкою, або власними щелепами. Аліментарне ожиріння виникає в тому випадку, коли людина вживає висококалорійну їжу (багату білками, жирами та вуглеводами), яка перевищує енерговитрати організму. Також може бути спадкове метаболічне (генетичне) ожиріння.

Порушення окислення ліпідів у тканинах

Якщо жири, які надходять у клітини, не розщеплюються, не окисляються і не виводяться з неї, то це свідчить про **жирову інфільтрацію**. Загальною причиною жирової інфільтрації вважають пригнічення активності окисних і гідролітичних ферментів ліпідного обміну (отруєння миш'яком, хлороформом, авітамінози, вірусні інфекції). Найчастіше спостерігається жирова інфільтрація печінки, оскільки ендотелій капілярів цього органа не має обмежувальної мембрани.

Порушення **проміжного ліпідного обміну** приводить до кетозу, що проявляється підвищенням рівня кетонів – групи органічних сполук, які є проміжними продуктами не тільки жирового, а і вуглеводного та білкового обміну в крові (кетонемія) і виділення їх у підвищеній кількості із сечею (кетонурія). Кетонів тіла (ацетооцтова кислота, *p*-гідроксимасляна кислота, ацетон) синтезуються у печінці з ацетил-КоА.

6. Нуклеїнові кислоти

Нуклеїнові кислоти – дезоксирибонуклеїнова (ДНК) та рибонуклеїнова (РНК) кислоти - це полінуклеотиди, що складаються з мономерних ланок – нуклеотидів (мононуклеотидів). Назва «нуклеїнові кислоти» походить від латинського слова «нуклеус», тобто ядро: їх уперше було виявлено в клітинних ядрах.

Нуклеїнові кислоти є високомолекулярними сполуками з молекулярною масою від декількох тисяч (транспортні РНК) до кількох мільйонів дальтон (ДНК еукаріотів). Це біополімери, які разом із білками належать до класу інформаційних біомакромолекул. Молекула ДНК являє собою два спіральні закручені антипаралельні ланцюги нуклеотидів. Ширина подвійної спіралі ДНК невелика, близько 2 нм.

Нуклеїнові кислоти виконують ряд унікальних біологічних функцій, не властивих іншим біополімерам: забезпечують збереження і передавання нащадкам спадкової інформації, беруть безпосередню участь у механізмах її реалізації шляхом програмування матричного синтезу всіх білків організму.

У молекулі ДНК міститься інформація про первинну структуру білка, що має синтезуватися. Найменша частина ДНК, у якій міститься інформація про структуру одного певного білка, називається геном. У молекулі ДНК може міститися кілька сотень або тисяч генів, у них записана і зберігається інформація про первинну структуру білків організму.

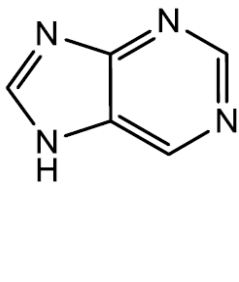
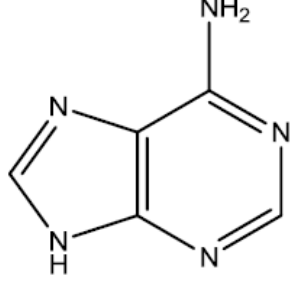
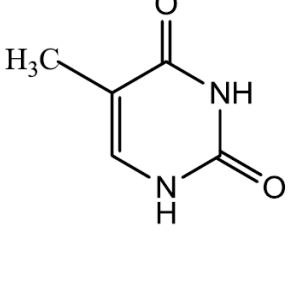
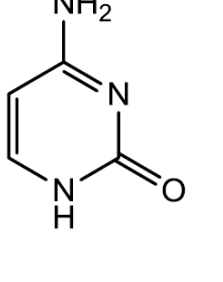
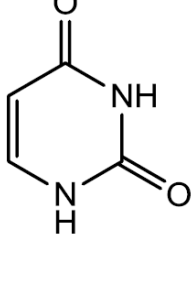
Нуклеотиди – трикомпонентні сполуки, які побудовані з азотистої основи пуринового чи піримідинового ряду, залишків цукрів пентоз (рибози або дезоксирибози) та фосфату.

Нуклеотиди є структурними компонентами (мономерними ланками) молекул нуклеїнових кислот – ДНК та РНК. Крім того, деякі рибонуклеотиди та їх похідні, що не входять до складу нуклеїнових кислот (вільні нуклеотиди), виконують функцію коферментів, кофакторів, алостеричних ефекторів різних ферментних систем. Особливе значення вільні нуклеотиди мають у ферментних процесах, що пов'язані з акумулюванням, зберіганням та міжмолекулярними перенесенням енергії в клітинах.

Нуклеотиди відрізняються тільки азотистою основою, відповідно до якої їх називають нуклеотид з азотистою основою аденін (скорочено А), нуклеотид з гуаніном (Г), тиміном (Т), цитозином (Ц), урацилом (У). Азотисті основи поділяють на пуринові – аденін, гуанін і

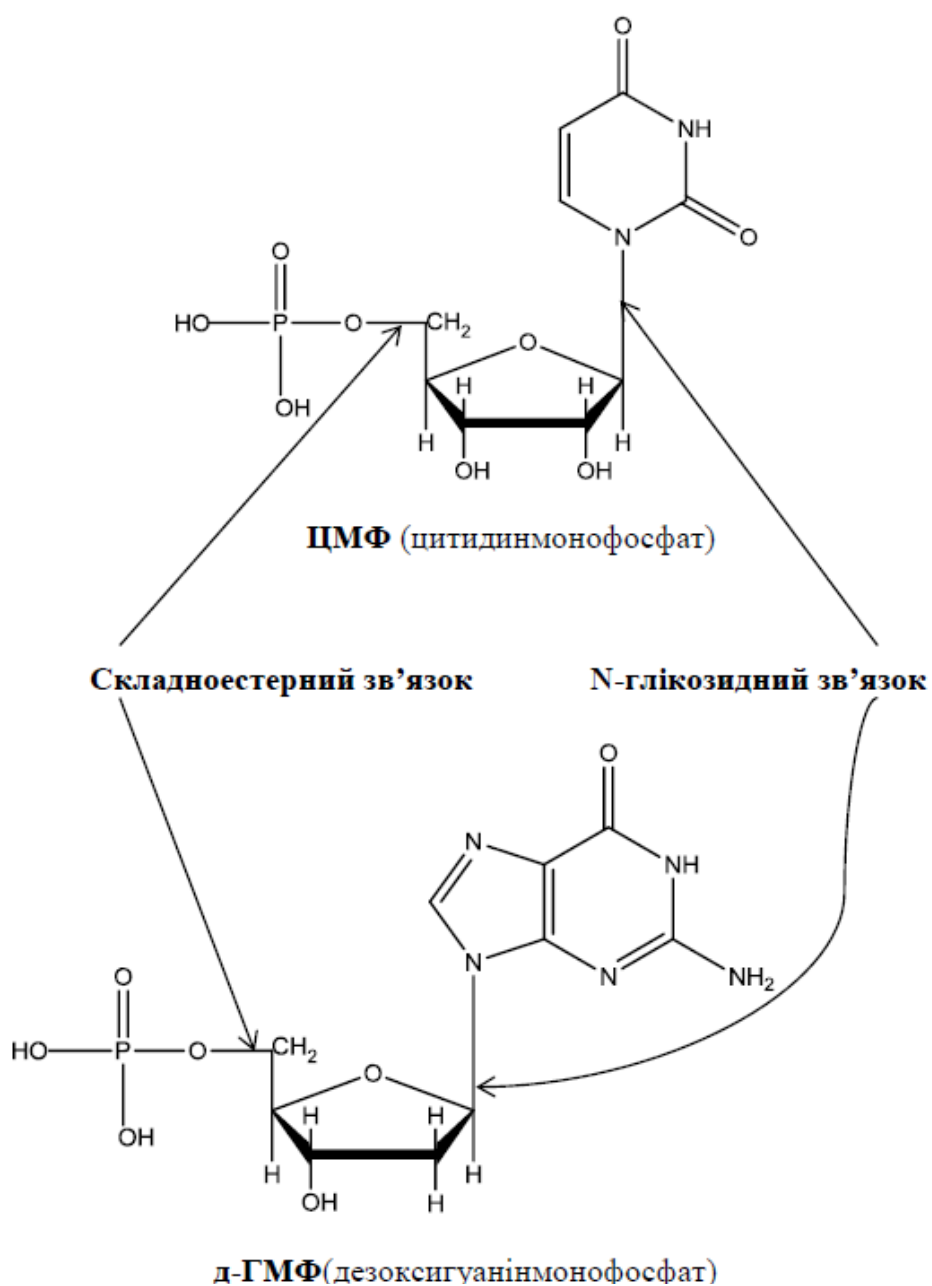
піримідинові – тимін, цитозин, урацил. У розміщенні нуклеотидів є важлива закономірність, а саме: проти А одного ланцюга завжди опиняється Т на другому ланцюгу, а проти Г одного ланцюга – завжди Ц. Аденін з тиміном з'єднаний подвійним водневим зв'язком (А=Т), а цитозин з гуаніном – потрійним (Г≡Ц) (рис. 6.1). У кожному з цих поєднань обидва нуклеотиди ніби доповнюють один одного. Тому прийнято говорити, що Г є комплементарним до Ц, а Т – до А.

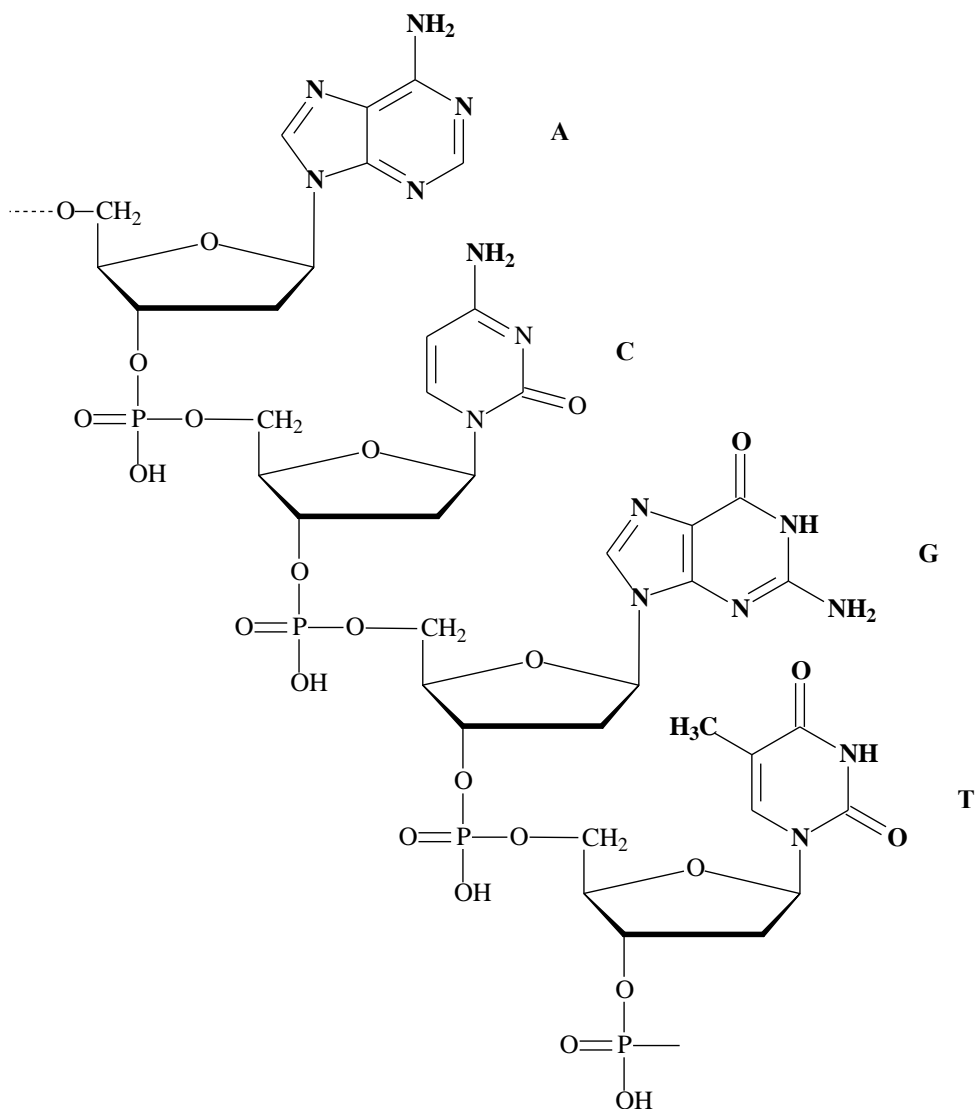
Азотисті основи

				
Пуринові основи		Піримідинові основи		
аденін	гуанін	тимін	цитозин	урацил

Будова нуклеотидів

Мононуклеотид = мононуклеозид + H_3PO_4





Фрагмент первинної структури ланцюга ДНК

Азотисті основи одного ланцюга з'єднані з азотистими основами другого. Основи підходять одна до одної настільки близько, що між ними виникають водневі зв'язки. Вторинна структура ДНК (подвійна спіраль) була встановлена Д. Уотсоном і Ф. Кріком (1953 р.) і являє собою 2 спіралізовані антипаралельні ланцюги полінуклеотидів, сполучених водневими зв'язками (рис. 6.2).

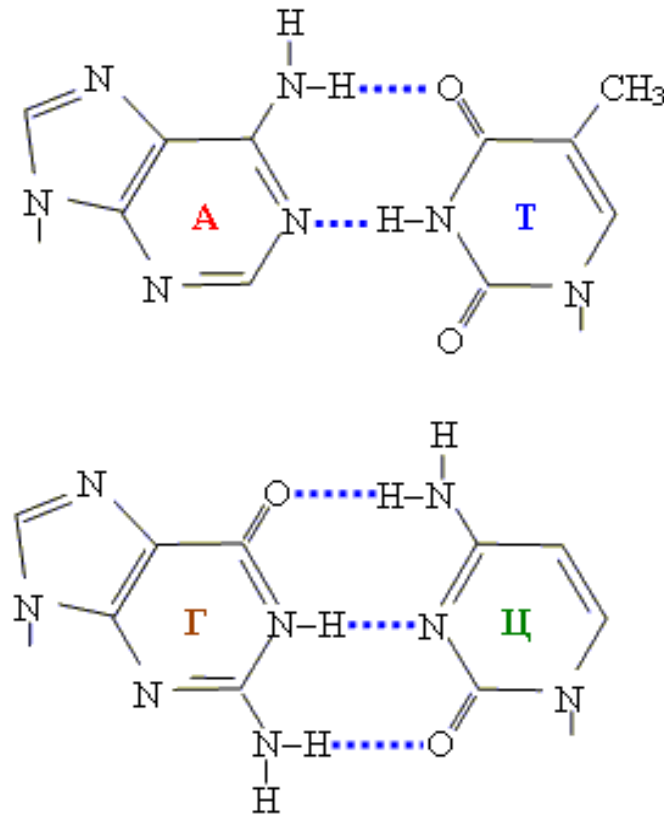


Рисунок 6.1 – Водневі зв'язки між комплементарними нуклеотидами при утворенні вторинної структури ДНК.

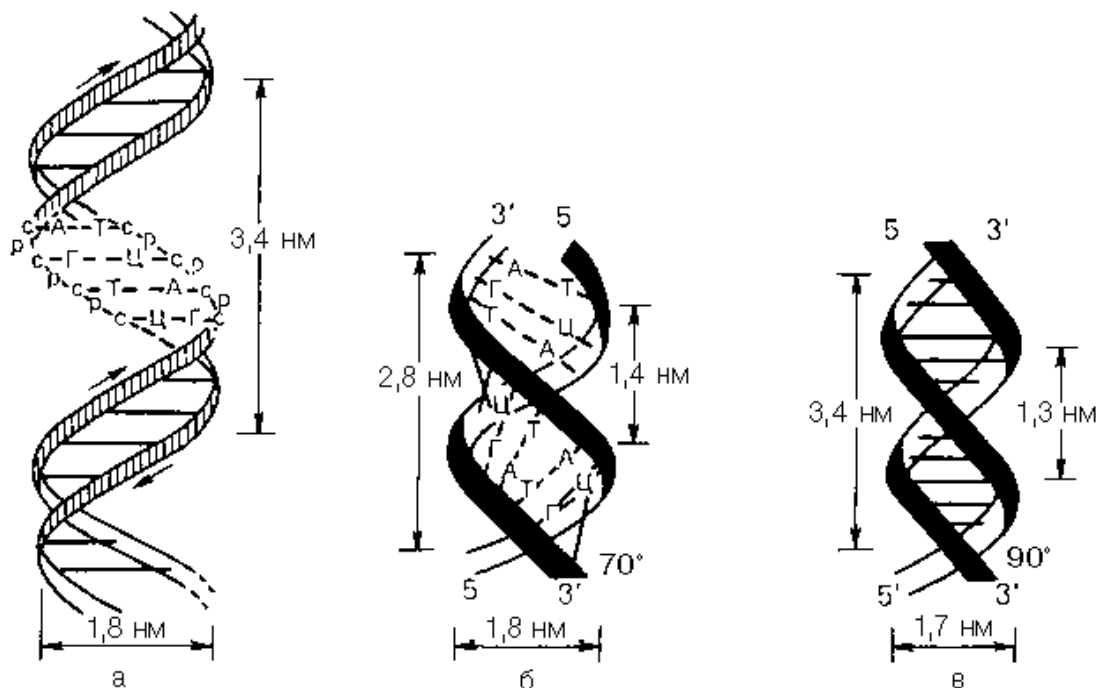


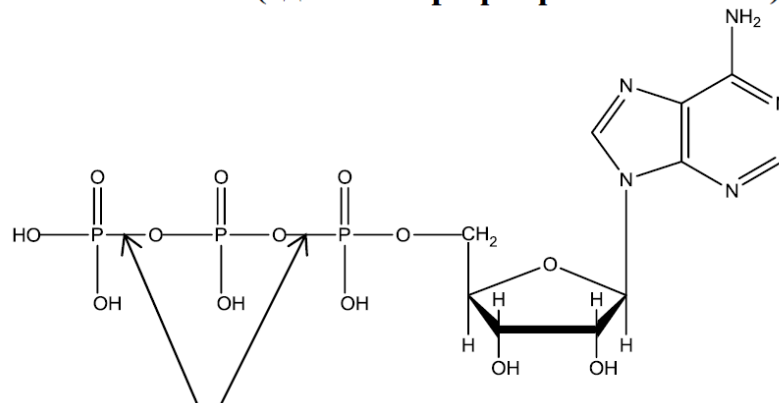
Рисунок 6.2 – Схематичне зображення подвійної спіралі ДНК (вторинна структура): а – за Уотсоном-Кріком (р – залишок фосфорної кислоти, с – залишок цукру дезоксирибози); б – А-форма ДНК; в – В-форма ДНК.

АТФ – аденозинтрифосфат (рибонуклеозид-5'-трифосфат) – головний хімічний посередник в клітині, який зв'язує між собою процеси що йдуть із виділенням і поглинанням енергії. Утворюється в мітохондріях з АДФ і неорганічного фосфату, містить два макроергічні

з'язки (рис. 6.3). При відщепленні від молекули АТФ одного фосфату виділяється 30,6 кДж/моль енергії.

Будова АТФ

АТФ (аденозинтрифосфатна кислота)



Ангідридні (макроергічні зв'язки)

Рисунок 6.3 – Схематичне зображення аденозинтрифосфорної кислоти (АТР).

АТФ – універсальне джерело енергії для багатьох біохімічних процесів. Хімічна формула: $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$. У реакціях, що протікають в клітині, АТФ бере участь у вигляді Mg^{2+} -комплексу. АТФ є головним донором енергії, яка використовується безпосередньо, а не є формою запасання енергії. Молекула АТФ вважається носієм енергії, оскільки її трифосфатний компонент містить два фосфоангідридні зв'язки. При гідролізі АТФ до аденозиндифосфату (АДФ) та ортофосфату або до аденозинмонофосфату (АМФ) та пірофосфату виділяється велика кількість енергії. Реакцію взаємодії АТФ з АМФ з утворенням 2 молекул АДФ каталізує аденілаткіназа (інша назва – міокіназа). АТФ бере участь в енергетичному обміні у всіх живих організмах, у процесах росту, руху та відтворення. Зелені рослини використовують світлову енергію для виробництва АТФ у процесі фотосинтезу.

Біологічні функції нуклеїнових кислот:

1. Збереження спадкової інформації.

Кількість ДНК у соматичних та статевих клітинах організму людини є сталою величиною, яку ці клітини отримують у процесах запліднення батьківських гамет та подальшого поділу зиготи.

2. Передавання генетичної інформації нащадкам.

Подвоєння молекул ДНК у процесі реплікації та передавання нащадкам копій материнських молекул є основою консерватизму спадковості, збереження протягом багатьох поколінь основних біологічних ознак виду.

3. Реалізація генетичної інформації.

Ця біологічна функція здійснюється за рахунок передачі закодованої в ДНК інформації молекулам інформаційних, або матричних РНК (мРНК) – транскрипції, та подальшої розшифровки цієї інформації при синтезі білків – трансляції (беруть участь тРНК і рРНК).

4. Енергетична і регуляторна.

Деякі рибонуклеотиди та їх похідні, що не входять до складу нуклеїнових кислот (вільні нуклеотиди), виконують, як зазначалося, функції коферментів, кофакторів, алостеричних ефекторів різних ферментних систем. Особливе значення вільні нуклеотиди мають у ферментних процесах, що пов'язані з акумулюванням, зберіганням та міжмолекулярним перенесенням енергії в клітинах. РНК здійснюють також деякі спеціалізовані ендонуклеазні функції та можуть регулювати різні етапи експресії генів.

Вміст РНК у будь яких клітинах в 5-10 разів перевищує вміст ДНК. Рибонуклеїнові кислоти (РНК) – це полінуклеотиди, що в клітинах еукаріотів та прокаріотів за характером своєї

структури та біологічних функцій поділяються на такі основні класи: інформаційні (матричні) РНК (іРНК або мРНК), транспортні РНК (тРНК), рибосомні РНК (рРНК). Крім того більшість клітин містить багато малих цитоплазматичних РНК (мцРНК), а в клітинах еукаріотів присутні малі ядерні РНК (мяРНК), їх загальна частка в клітинах не перевищує 2% від загальної кількості РНК. У клітинах РНК-вмісних вірусів полірибонуклеотиди виконують генетичну функцію зберігання та переносу спадкової інформації.

Таблиця 6.1 – Характеристика різних типів РНК

Тип РНК	Молекулярна маса, Да	Кількість мононуклеотидів в одній молекулі	Вміст у клітині, %
іРНК	25 000-1 000 000	75-300	2
тРНК	25 000-30 000	73-93	16
рРНК	35000-1 100000	100-3 000	82

Поглинання в УФ-ділянці. Азотисті сполуки (та відповідні нуклеотиди), що входять до складу нуклеїнових кислот ДНК і РНК, мають властивість поглинати ультрафіолетове світло при довжині хвилі 260 нм.

Полімеразна ланцюгова реакція (ПЛР або PCR) – експериментальний метод молекулярної біології, спосіб значного збільшення малих концентрацій бажаних фрагментів ДНК в біологічному матеріалі (пробі). Крім простого збільшення числа копій ДНК (цей процес називається ампліфікацією), ПЛР дозволяє проводити безліч інших маніпуляцій з генетичним матеріалом (введення мутацій, зрощення фрагментів ДНК), і широко використовується в біологічній і медичній практиці, наприклад для клонування генів, введення мутацій, виділення нових генів, секвенування, для створення і визначення генетично модифікованих організмів, діагностики захворювань (спадкових, інфекційних), ідентифікації малих кількостей ДНК, встановлення батьківства. Метод заснований на багатократному виборчому копіюванні певної ділянки ДНК за допомогою ферментів *in vitro* (в штучних умовах). При цьому відбувається копіювання тільки тієї ділянки, яка задовольняє задані умови, і лише в тому випадку, якщо він присутній в досліджуваному зразку. За допомогою ПЛР зазвичай можуть бути ампліфіковані відносно короткі (до 10 kbp) ділянки ДНК з відомими кінцями, у окремих випадках можуть використовуватися ділянки до 40 kbp. Для проведення найпростішої ПЛР потрібні такі компоненти:

- ДНК-матриця, тобто фрагмент ДНК, що містить ту ділянку, яку потрібно ампліфікувати.
- Два праймери, комплементарні кінцям необхідного фрагменту.
- Термостабільна ДНК-полімераза.
- Дезоксинуклеотидтрифосфати (А, Т, Г, Ц).
- Буферний розчин.

ПЛР проводять в ампліфікаторі – приладі, що забезпечує періодичну та швидку зміну температури (охолодження і нагрівання) тестових пробірок із розчином, зазвичай з точністю не менше за 0,1 °С.

ПЛР часто використовують в медицині також для виявлення і точної ідентифікації збудників інфекцій, паразитів та ін.

На сьогоднішній день все більшого поширення набуває і **ДНК-аналіз**. В кожній соматичній клітині людини міститься 23 пари хромосом (в статевих – 23 хромосоми). ДНК кожної людини унікальна, вона може бути однаковою тільки у однойцевих близнюків. За допомогою ДНК-тестів можна визначити батьківство, генеалогію (походження) кожної людини, схильність до тих або інших захворювань, спадкові задатки до різних професій, видів діяльності, особливості психіки і поведінки, таланти тощо. Активно проводиться втручання в геноми рослин і тварин з метою їх корекції (ГМО – генетично модифіковані організми з необхідними властивостями і характеристиками). Методами генної інженерії вже можливо «виправляти і покращувати» геном людини (хоча в більшості країн це заборонено з етичних та інших міркувань), наприклад для того щоб у батьків-носіїв певних спадкових хвороб могли

народитися абсолютно здорові діти. Втручання в геном можливе як до запліднення, так і у вже сформований організм будь-якого віку. В криміналістиці останні 20-30 років ДНК-аналіз використовують для доказу причетності до злочинів, ідентифікації невпізнаних трупів або частин тіла тощо.

7. Вітаміни

Вітаміни – біоорганічні сполуки, що є життєво необхідними компонентами обміну речовин; на відміну від інших біомолекул, вітаміни не синтезуються в організмі людини, або синтезуються в незначній кількості, тому вони повинні надходити з компонентами харчування. На відміну від таких поживних речовин, як вуглеводи, ліпіди та білки, вітаміни належать до **мікрокомпонентів** харчування, їх добові потреби для людини складають міліграми або мікрограми.

Класифікація вітамінів

Враховуючи, що відкриття перших препаратів вітамінів значно передувало розшифровці їх хімічної структури, історично склалися емпіричні назви (номенклатура) вітамінів, що містять велику літеру латинського алфавіту з цифровим індексом; у сучасних назвах вітамінів вказують також їх хімічну природу та, в деяких випадках, основний біологічний ефект із префіксом "анти-".

Залежно від фізико-хімічних властивостей (розчинності у воді або в ліпідах) вітаміни поділяють на дві великі групи: водорозчинні та жиророзчинні.

Водорозчинні вітаміни

Вітамін B₁ (тіамін; антиневритний вітамін),

Вітамін B₂ (рибофлавін).

Вітамін PP (вітамін B₃; ніацин; нікотинамід; антипелагричний вітамін).

Пантотенова кислота (вітамін B₅; антидерматитний вітамін).

Вітамін B₆ (піридоксин; антидерматитний вітамін).

Фолієва кислота (вітамін B₉, птероїлглутамат; антианемічний вітамін).

Вітамін B₁₂ (ціанокобаламін; антианемічний вітамін).

Вітамін B₁₃ (оротова кислота).

Вітамін B₁₅ (пангамова кислота).

Вітамін H (біотин; антисеборейний, антидерматитний вітамін).

Вітамін C (аскорбінова кислота).

Вітамін P (рутин; вітамін проникності).

Жиророзчинні вітаміни

Вітамін A (ретинол; аксерофтол; вітамін росту).

Вітамін K (філохінон; антигеморагічний вітамін).

Вітамін E (α-токоферол; вітамін розмноження).

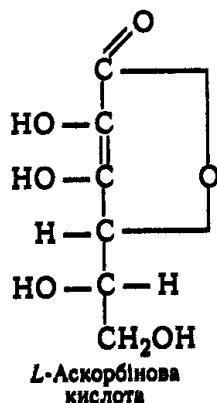
Вітамін F (комплекс поліненасичених жирних кислот).

Вітамін D (кальциферол; антирахітний вітамін).

Механізми біохімічної дії більшості водорозчинних вітамінів (за виключенням вітамінів C та P) полягає у їх використанні в побудові коферментів, які каталізують у складі ферментних білків важливі метаболічні реакції – *коферментна функція* вітамінів. Жиророзчинні вітаміни є олієподібними речовинами, які добре взаємодіють із гідрофобними розчинниками (пентан, гексан, хлороформ, циклогексан, бензол, діетиловий ефір та ін.); завдяки наявності в структурі молекул довгих вуглеводневих (переважно ізопреноїдних) радикалів, більшість із цих вітамінів є компонентами біомембран, у складі яких виконують специфічні біологічні функції, зокрема є потужними *біоантиоксидантами* (вітаміни E, A, K).

Водорозчинні вітаміни

Вітамін С. За хімічною будовою вітамін С є γ -лактоном 2,3-дигідро-L-гулонової кислоти. Емпірична назва вітаміну — *аскорбінова кислота* вказує на його профілактичну дію



щодо *цинги*, або *скорбути* — специфічного патологічного процесу, спричиненого екзогенною недостатністю вітаміну. У водних розчинах L-аскорбінова кислота (L-АК) зворотно перетворюється на дегідроформу — L-дегідроаскорбінову кислоту (L-ДАК), яка повністю зберігає біологічні властивості вітаміну С; подальші окислювальні перетворення L-ДАК є незворотними і призводять до утворення похідних, що не мають вітамінних властивостей.

Біологічні властивості та механізм дії. Біологічна дія вітаміну С переважно пов'язана з гідроксилюванням біомолекул в ході таких біохімічних перетворень:

- біосинтезу *колагену*, а саме в посттрансляційній модифікації білка з утворенням зрілого *колагену* шляхом гідроксилювання залишків проліну та лізину до відповідних гідроксиамінокислот; в процесі гідроксилювання проліну до 4-гідроксипроліну бере участь Fe^{2+} -аскорбатзалежний фермент *пролілгідроксилаза*, роль вітаміну С полягає в регенерації відновленої форми іона заліза, необхідного для каталітичного циклу;

- біосинтез дофаміну, норадреналіну та адреналіну (етапи гідроксилювання в циклі та бічному кільці катехоламінів);

- біосинтезу стероїдів (численні реакції гідроксилювання на етапах утворення холестерину та біологічно активних стероїдних гормонів);

- біосинтезу серотоніну (реакція гідроксилювання триптофану);

- катаболізму тирозину (через стадію утворення гомогентизинової кислоти).

Джерела та добова потреба. Вітамін С міститься в більшості продуктів харчування, особливо рослинного походження, і недостатність у вітаміні розвивається, як правило, за умов нераціональної дієти (відсутність свіжих рослинних продуктів) або неправильної кулінарної підготовки харчових блюд. Особливо шкідливими є термічна обробка продуктів в умовах високої температури, наявності Оксигену (кисню) та металів (нагрівання продуктів у металевому посуді). Добова потреба в L-аскорбіновій кислоті становить 50-70 мг.

Таблиця – Вміст вітаміну С (L-аскорбінова кислота) в деяких продуктах харчування

Продукт	L-АК (мг/100 г)
Шипшина (ягоди)	1000-4500
Горіх волоський	1000-1800
Перець червоний	100-400
Смородина чорна	100-400
Смородина червона	8-16
Хрін (корінь)	100-200
Картопля	6-20
Капуста білокачанна	25-66
Морква	5
Цибуля ріпчаста	20
Яблука (Антонівка)	20-40
Лимони	40-55
Кавун	5-10
Молоко коров'яче (мг/100 мл)	1
Кумис (мг/100 мл)	20

Вітамін Р (цитрин) являє собою галову кислоту. Цей вітамін зменшує проникність кровоносних судин, підсилює дію аскорбінової кислоти. Найбільше вітаміну Р в гречаній крупі,

лимонах, червоному перці, чорній смородині. При Р-авітамінозі відзначаються ті самі явища, що і під час цинги. Сукупність синтезованих вітамінів С і Р називають галоаскорбіном, при застосуванні якого рани заживають в два-три рази швидше, він знімає біль, стимулює вуглеводно-фосфорний обмін та утворення гемоглобіну, знімає втому.

Вітамін В₁ (тіамін, аневрин) бере участь в обміні вуглеводів, білків і жирів, у передачі збудження в нервовій системі та ін. Впливає на синтез ацетилхоліну і холінестерази, забезпечує нормальний ріст і роботу серця. Вітамін В₁ міститься в лісових горіхах, неочищеному рисі, хлібі грубого помолу, ячмінній і вівсяній крупах, особливо його багато в пивних дріжджах і печінці. Брак цього вітаміну в їжі спричиняє хворобу бері-бері. Хворий втрачає апетит, швидко втомлюється, поступово з'являється слабкість у м'язах ніг, настає у них втрата чутливості, може бути ураження слухового і зорового нервів, гинуть клітини довгастого і спинного мозку, настає параліч кінцівок і смерть. Добова потреба у вітаміні В₁ становить 1,5-3,0 мг, для дітей – 0,5-2 мг.

Вітамін В₂ (рибофлавін) впливає на ріст і розвиток плоду та дитини. Цей вітамін входить до складу дихального пігменту, який є в клітинах, і бере участь у клітинному диханні. Впливає на функцію зорового аналізатора, підсилює кольорове та світлове відчуття, стимулює синтез гемоглобіну. Вітамін В₂ міститься в хлібі, гречаній крупі, молоці, яйцях, печінці, м'ясі, помідорах. Без цього вітаміну в їжі затримується ріст дитячого організму. У людини першими ознаками нестачі цього вітаміну є ураження шкіри: з'являються тріщини, які мокріють і вкриваються темною кіркою. Далі розвивається ураження очей і шкіри, яке супроводжується відпаданням зроговілих лусочок. Пізніше може розвиватися злякисне недокрів'я, ураження нервової системи, раптове падіння артеріального тиску, судом, втрата свідомості. Добова потреба у вітаміні В₂ становить 2-3 мг.

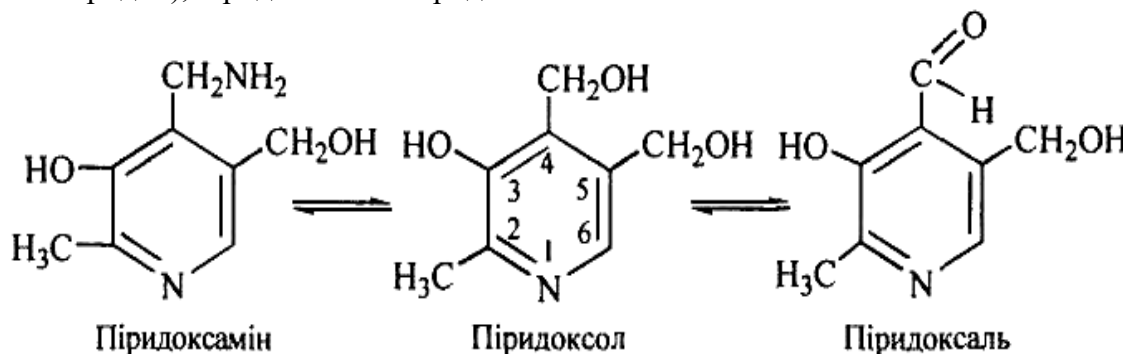
Вітаміни В₃, В₄, В₇ – вітаміни росту. Зазвичай містяться в тих самих продуктах, що й вітамін В₁.

Вітамін РР (нікотинова кислота, нікотинамід, ніацин, або вітамін В₃) відіграє важливу роль в окисно-відновних процесах та обміні вуглеводів. Цей вітамін входить до складу ферментів, що переносять кисень, регулюють тканинне дихання. Нікотинова кислота та її амід стимулюють кровотворення в кістковому мозку, прискорюють процеси загоєння ран та виразок, посилюють секрецію шлунка і перистальтику кишечника, а також поліпшують всмоктування різних речовин із кишківника. Вітамін РР міститься в зелених овочах, моркві, картоплі, горосі, гречаній крупі, житньому хлібі, молоці, м'ясі, рибі, яйцях. Дефіцит нікотинової кислоти може призвести до розвитку захворювань щитовидної залози, атеросклерозу, гіпертонії, гастриту, підвищеної стомлюваності (фізичної і розумової), м'язової слабкості, шкірних хвороб. Також нестача цього вітаміну може спричинити хворобу пелагра, тому цей вітамін називають антипелагричним. При пелагрі ушкоджується слизова оболонка кишково-шлункового тракту, що спричиняє проноси, порушується діяльність нервової системи, проявляються галюцинації, психози. Добова потреба становить 15-25 мг.

Вітамін В₅ (пантотенова кислота) каталізує (в складі інших ферментів) обмін жироподібних речовин (синтез специфічних жирів, стероїдів, ацетилхоліну та ін.). Регулює роботу надниркових залоз, засвоєння інших вітамінів, синтез антитіл. Міститься у більшості натуральних рослинних (листові овочі, горіхи, крупи) і тваринних продуктів (курятина, ікра). Добова норма 5-10 мг. При нестачі в організмі цієї кислоти затримується ріст, уражається шкіра, порушується сон, можуть виникати біль у м'язах, животі, нудота, блювання.

Вітамін В₆

Хімічна будова. Терміном *піридоксин* об'єднують три близькі за дією та взаємно перетворювані в біологічних тканинах сполуки: піридоксол (2-метил-3-окси-4,5-діоксиметилпіридин), піридоксаль та піридоксамін:



Біологічні властивості та механізм дії. Біологічна дія вітаміну В₆ пов'язана з участю в реакціях амінокислотного обміну. Його *коферментними формами* є піридоксальфосфат (ПАЛФ) та піридоксамінфосфат (ПАМФ), що беруть участь у каталітичних циклах таких ферментних реакцій:

- реакцій трансамінування у складі ферментів *аміотрансфераз* (коферментну функцію виконують ПАЛФ та ПАМФ, що взаємно перетворюються в ході акту каталізу);
- реакцій декарбоксілювання у складі ферментів *декарбоксилаз* амінокислот (коферментну функцію виконує ПАЛФ);
- перетворення триптофану кінуреніновим шляхом з утворенням нікотинаміду НАД (в метаболічному шляху бере участь ПАЛФ-залежний фермент *кінуреніназа*);
- біосинтезі гему (ПАЛФ є коферментом *δ-амінолевуліатсинтази* — ферменту, що каталізує утворення δ-амінолевуліату, першого метаболіту цього синтетичного шляху).

Прояви недостатності піридоксину найчастіше спостерігаються в дитячому віці за умов харчування синтетичними сумішами, не збалансованими за вмістом цього вітаміну, і проявлятися пелагроподібним дерматитом, судомою, анемією. Вважають, що розвиток судом може бути пов'язаним з дефіцитом утворення в нервовій системі гальмівного медіатора ГАМК внаслідок недостатньої активності ПАЛФ-залежного ферменту *глутаматдекарбоксилази*.

Стан недостатності вітаміну В₆ може бути також спричиненим тривалим застосуванням протитуберкульозних засобів — похідних ізонікотинової кислоти (*Ізоніазид* тощо), що є структурними аналогами піридоксину і можуть виступати як його *антивітаміни*.

Джерела та добова потреба. Потреби у вітаміні В₆ людина покриває за рахунок його споживання з такими поширеними продуктами харчування, як хліб, картопля, круп'яні вироби, м'ясо, печінка тощо; частково потреби в цьому вітаміні задовольняються за рахунок синтезу його мікрофлорою кишечника.

Добова потреба в піридоксині складає 2-3 мг.

Вітамін В₉ (фолієва кислота) має велике значення в кровотворенні, особливо у формуванні еритроцитів. Ця кислота сприяє утворенню в людському організмі й інших елементів крові — лейкоцитів і тромбоцитів. Міститься вона в дріжджах, моркві, шпинаті, білокачанній капусті, шавлі, салаті, цвітній капусті. Синтезується бактеріями кишечника. При нестачі цього вітаміну в організмі розвиваються макроцитарна анемія, лейкопенія, тромбоцитопенія, нерідко кровоточать слизові оболонки рота, кишків, виникають виразковий стоматит, гінгівіт, некротична ангіна. Фолієва кислота позитивно впливає на функціональний стан печінки: стимулює синтез пуринів та піримідинів, підвищує активність каталази, стимулює жовчовиділення, зменшує жирову інфільтрацію печінки, викликану дефіцитом холіну в їжі.

Вітамін В₁₂ (ціанокобаламін) — це складна органічна сполука, яка містить в собі кобальт. Цей вітамін стимулює роботу кровотворних органів, є каталізатором багатьох обмінних процесів: бере участь у синтезі глутаміну, нуклеїнових кислот, впливає на вуглеводний,

жировий і білковий обмін, стимулює утворення еритроblastів у кістковому мозку і ріст аксонів нервових клітин. На цей вітамін багаті внутрішні органи тварин, особливо нирки і печінка. У людини цей вітамін синтезується мікрофлорою кишок. Нестача його в організмі провокує злякисне недокрів'я з порушенням утворення еритроцитів. Добова потреба у вітаміні B12 становить 2-3 мг.

Вітамін B₁₃ (оротова кислота). Стимулює обмін білків, нормалізує роботу печінки, покращує репродуктивне здоров'я. Міститься: в молоці і молочних продуктах, в печінці, дріжджах.

Вітамін B₁₅ (пангамова кислота) входить до складу багатьох рослин, має важливі лікувальні властивості. Застосовується при атеросклерозі, мозкових крововиливах, гепатитах на ґрунті хронічного отруєння алкоголем. Вітамін B₁₅ бере участь в обміні речовин, особливо ліпідів, стимулює функцію коркового шару надниркових залоз, сприяє збільшенню вмісту креатинфосфату в м'язах та глікогену в печінці та м'язах. Він підвищує стійкість організму до кисневого голодування, запобігає цирозу печінки і стимулює репаративні процеси.

Вітамін U виявлено в листках капусти і зелених овочах. Він сприяє загоєнню виразки шлунка та дванадцятипалої кишки.

Вітамін H (біотин) бере участь у перетворенні амінокислот і розкладі проміжних продуктів обміну вуглеводів. При нестачі біотину випадає волосся, ушкоджуються нігті та шкіра. Біотин міститься в пшениці, картоплі, тваринних продуктах.

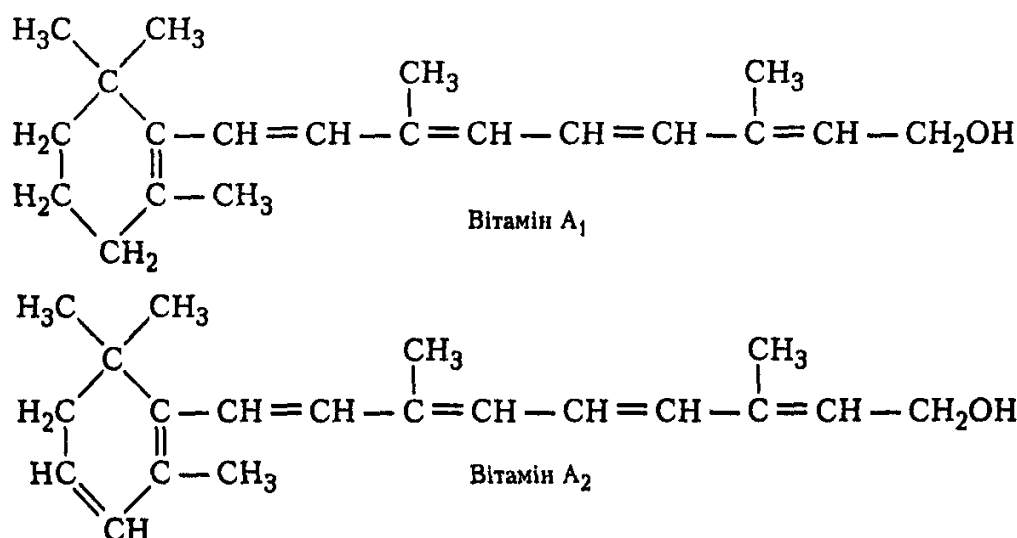
Жиророзчинні вітаміни

Всмоктування **жиророзчинних вітамінів** у кишечнику залежить від наявності поверхнево-активних компонентів жовчі і може порушуватися при обтурації жовчних протоків, що супроводжується симптомами вітамінної недостатності. З іншого боку, на відміну від водорозчинних вітамінів, надлишкове (щодо фізіологічних потреб) надходження жиророзчинних вітамінів (особливо A, D, K) є небезпечним для організму людини, оскільки ці сполуки можуть накопичуватися в тканинних депо і спричиняти токсичну дію (стан *гіпервітамінозу*).

Вітамін A (ретинол)

Хімічна будова та біологічні джерела. Сполуки, що мають біологічні властивості вітаміну A, є похідними β -іонону. Дві молекулярні форми вітаміну A (*вітамери*) — A₁ та A₂ є циклічними ненасиченими спиртами (транс-ізомери), що мають як бічний радикал гідрофобну діізопреноїдну групу, завдяки якій ці сполуки розчиняються в ліпідному бішарі мембран. Обидві сполуки проявляють повний спектр біологічних ефектів вітаміну A, проте вітамін A₁ є дещо активнішим.

У рослинних організмах містяться *провітаміни* (біологічні попередники) вітаміну A — жовті пігменти α , β та γ -каротини (вперше були виявлені в моркві – *carota*; лат.). Найбільш активним провітаміном вітаміну A є β -каротин, при гідролізі якого за участю ферменту β -каротинази стінки тонкої кишки та печінки людини утворюються дві молекули вітаміну A₁. Необхідний для нормального росту і розвитку епітеліальної тканини. Входить в зоровий пігмент *родопсин*. При нестачі – захворювання «куряча сліпота» (порушення сутінкового зору). Багато вітаміну A в молоці, рибі, яйцях, маслі, моркві, петрушці, абрикосах.



Біологічні властивості. Після надходження в організм людини (з тваринною їжею або у вигляді рослинних каротинів) ретинол та дегідроретинол депонуються в тканинах (переважно в печінці) у вигляді складних жирнокислотних ефірів, які, у міру фізіологічної потреби, утворюють активні молекулярні форми вітаміну А: спирт (*ретинол*), альдегід (*ретиналь*) та *ретиноеву* кислоту.

Біологічна активність вітаміну А полягає, переважно, в регуляції таких функцій організму:

- процесів темного (нічного) зору — недостатність вітаміну А супроводжується порушенням темного зору і розвитком "курячої сліпоті" (*гемералонії*);
- процесів росту та диференціювання клітин;
- процесів утворення глікопротеїнів, що є компонентами біологічних слизів організму.

Характерним проявом недостатності вітаміну А у людини та тварин є виражена сухість слизових оболонок, вкритих одношаровим плоским епітелієм, що вистилає шлунково-кишковий та дихальний тракт, сечовивідні та статеві шляхи, очне яблуко, слізний та слуховий канали тощо. Введення препаратів вітаміну А або продуктів, що його містять, протидіє вказаним патологічним проявам, зокрема сухості очного яблука ("антиксерофтальмічний" вітамін, "аксерофтол").

Добова потреба. Вітамін А надходить в організм людини з продуктами тваринного походження (особливо у складі вершкового масла, сметани, молока, печінки, рибацького жиру, яєчного жовтка) та у вигляді рослинних каротинів. Добова потреба людини у вітаміні А складає 1,5-2,5 мг, або 3-5 мг каротинів.

Вітамін D (кальциферол) впливає на обмін солей кальцію і фосфору, сприяє їх всмоктуванню з кишок і відкладанню в кістках. Дуже багатий на вітамін D жир печінки тварин і риб, особливо тріски, багато його в яєчному жовтку, вершковому маслі, ікрі, молоці, в баклажанах, шпинаті. У шкірі людини міститься провітамін ергостерин, який під впливом ультрафіолетових променів (сонця, кварцової лампи) перетворюється у вітамін D. Нестача в їжі вітаміну D у дітей раннього віку викликає рахіт (ураження кісток). При цьому захворюванні затримується заростання тім'ячок на черепі і прорізування зубів. Кістки ніг стають гнучкими і під вагою тіла викривлюються. D-гіпервітаміноз супроводжується підвищеним всмоктуванням кальцію та фосфору з кишок і відкладанням їх у кістках і м'яких тканинах (м'язі серця, судинах нирок та ін.). Добова потреба людини в кальциферолах 15-25 мкг.

Вітамін Е (токоферол)

Хімічна будова. Властивості вітаміну Е має група похідних *токолу* (2-метил-2(4',8',12'-триметилтридецил)-6-хроманолу) — α , β та γ -*токофероли*, що були вперше виділені з рослинних олій. Найбільшу біологічну активність має α -токоферол (5,7,8-триметилтокол):

Біологічні властивості та механізм дії. Вітамін Е має широкий спектр біологічної активності — його недостатність супроводжується численними змінами обмінних процесів та фізіологічних функцій організму. Найбільш характерними для Е-авітамінозу є глибокі порушення репродуктивної функції як у чоловіків (аномальний сперматогенез) так і жінок (неспроможність запліднення та виношування вагітності), м'язові дистрофії, некрозо-дистрофічні процеси в печінці.

Згідно з сучасними уявленнями, основні молекулярні механізми дії вітаміну Е (α -токоферолу) полягають у наступному:

Антирадикальні та мембраностабілізуючі властивості вітаміну Е є біохімічною основою його біологічної функції як найбільш потужного *біоантиоксиданта*. Протидіючи перекисному окисненню біомолекул (ліпідів, білків, нуклеїнових кислот), α -токоферол захищає клітинні структури від цитотоксичної дії вільних радикалів як ендогенного походження, так і ксенобіотиків, що потрапляють в організм із зовнішнього середовища.

Джерела та добова потреба. Найбільш багатими джерелами вітаміну Е в харчуванні людини є олії (соняшникова, кукурудзяна, соєва тощо), свіжі овочі та тваринні продукти (м'ясо, вершкове масло, яєчний жовток). Добова потреба людини у вітаміні Е (α -токоферолі) становить 10-20 мг.

Вітамін К (філохінон)

Хімічна будова. Властивості вітаміну К має група вітамерів – похідних 2-метил-1,4-нафтохінона. Розрізняють вітамін K_1 (філохінон, фітохінон), вітамін K_2 (фарнохінон) та синтетичний вітамін K_3 (вікасол або 2-метил-1,4-нафтохінон).

Біологічні властивості. Біологічна дія вітаміну К в організмі людини і тварин полягає в його впливі на функціонування згортальної системи крові ("антигеморагічний" вітамін). Оскільки вітамін К є необхідним компонентом для утворення факторів коагуляції крові недостатність вітаміну супроводжується небезпечними для життя кровотечами. Гіповітаміноз вітаміну К у людини розвивається найчастіше при захворюваннях печінки та системи жовчовивідних шляхів, які перешкоджають утворенню та/або надходженню в дванадцятипалу кишку жовчі, необхідної для всмоктування жиророзчинних речовин. При підвищеній активності згортальної системи крові нагальною проблемою клінічної практики є застосування антикоагулянтів, що за механізмом дії є *антивітамінами* вітаміну К (група похідних *кумарину*).

Джерела та добова потреба. Джерелами вітаміну К для організму людини є переважно рослинні продукти харчування (капуста, помідори, салат); певна кількість вітаміну міститься в печінці (особливо свиній), м'ясі. Значна кількість вітаміну синтезується також кишковою мікрофлорою, що може забезпечити потреби організму людини в цьому вітаміні навіть в умовах зменшеного його надходження з продуктами харчування.

Добова потреба людини у вітаміні К складає 200-300 мкг.

Вітамін F включає напівнасичені жирні кислоти (лінолеву, ліноленову, арахідонову), що входять до складу рослинних олій, особливо соняшникової, кукурудзяної та бавовникової. Ці жирні кислоти беруть участь у процесах клітинного обміну, регулюють вміст холестерину в крові.

Особливості обміну вітамінів

Порушення балансу вітамінів в організмі проявляється їх недостатністю (негативний баланс) або надлишком (позитивний баланс, **гіпервітаміноз**). Вітамінна недостатність супроводжується важкими розладами біохімічних і фізіологічних процесів, виникненням специфічних патологій. Часткову недостатність вітамінів називають **гіповітамінозом**, а виражений дефіцит – **авітамінозом**, їх клінічними проявами є цинга, рахіт, пелагра, бері-бері,

нічна сліпота та ін. Недостатність одного вітаміну називають моногіповітамінозом, а відразу кількох – полігіповітамінозом.

Причини **гіповітамінозу** можуть мати як *екзогенний*, так і *ендогенний* характер. До екзогенних відносять аліментарну форму вітамінної недостатності, зумовлену нераціональним харчуванням, неправильним зберіганням і кулінарною обробкою продуктів. Іншою, не менш поширеною, причиною екзогенного гіповітамінозу є зміна складу нормальної кишкової мікрофлори (дисбактеріоз), спричинена довготривалим і неконтрольним вживанням хіміотерапевтичних засобів (антибіотиків, сульфаніламідів тощо).

Ендогенні **авітамінози** викликаються порушенням засвоєння певних вітамінів клітинами організму (внаслідок розладів їх всмоктування в травному тракті або неспроможності біохімічних систем організму включати вітаміни в обмінні процеси, зокрема внаслідок наявності їх структурних конкурентів – **антивітамінів**) або через збільшення виведення вітамінів з організму чи підвищення їх утилізації в біохімічних та фізіологічних процесах (лактація, вагітність, виснажлива фізична праця, знаходження в екстремальних температурних умовах, тяжкі інфекційні хвороби тощо).

Антивітаміни – структурні аналоги вітамінів, вони витісняють вітаміни із відповідних реакцій обміну речовин і не здатні виконувати їх функції. Крім того антивітамінами можуть бути сполуки, які інактивують вітаміни, розщеплюючи їх на прості речовини, або утворюють з вітамінами хімічно неактивні комплекси. Наприклад: оксид ванадію окислює вітамін А і цей продукт викликає типовий авітаміноз А; альдегіди і кетони, що виникають при прогоранні жирів, ліпідів є антагоністами вітаміну Е; антагоністами вітаміну В₂ є його структурні аналоги динитрофеназин, ізорибофлавін та ін.; антивітаміном для В₆ є ізоніазид, протитуберкульозний засіб, похідний ізонікотинової кислоти; сульфопантотенова кислота, що інколи використовується як бактерицидний препарат – антивітамін для В₃.

Гіпервітамінози трапляються досить рідко й характерні не для всіх вітамінів, ці явища добре вивчені на тваринах. Так, при надлишку в раціоні вітаміну А або каротиноїдів у тварин може виникати інтоксикація організму, судоми, парези, паралічи, геморагії, кон'юнктивіти, риніти, набряк мозку тощо. При надлишку вітаміну D – диспепсія, порушення травлення і серцевої діяльності, кістки втрачають міцність і можуть бути спонтанні переломи. Надлишок вітаміну РР в організмі може призвести до уражень нервової системи та епітеліальних тканин. Гіпервітаміноз виникає у людини при надмірному споживанні вітамінів. Виявляється у вигляді інтоксикації (отруєння) організму. Більш токсичною дією володіють надмірні дози жиророзчинних вітамінів, так як вони можуть накопичуватися в організмі. Гіпервітаміноз досить часто спостерігається у людей, які займаються культуризмом – бодібілдингом і нерідко без міри вживають харчові добавки та вітаміни.

Вітаміни при термічній обробці продуктів

Частина вітамінів може втрачати свою активність при термічній обробці продуктів.

Вітамін А. Міститься в печінці, часнику, вершковому маслі, брокколі, морських водоростях, морквині, помідорах, зеленій цибулі, кропі та ін. Термічна обробка руйнує до 30% його біологічних властивостей. Особливо інтенсивно вітамін А знищується при смаженні, сушінні під впливом ультрафіолетових променів. Добре зберігається при стерилізації продуктів при температурі до 120 градусів.

Вітамін В₁. Міститься в вівсянці, пшоні, свинині, печінці, гречці, макаронних виробах та ін. Особливо чутливий до варіння (втрачає до 45% користі), смаження (до 42%) і тушкування (до 30%). Втрачає активність при температурі вище 120 градусів.

Вітамін В₂. Міститься в печінці, грибах, курячих яйцях, гусятині та ін. Якщо зварити перераховані продукти, ви втратите до 43% корисних властивостей, тому інші способи приготування – кращі (при тушкуванні втрачається всього 10% біологічної активності вітаміну).

Вітамін В₆. Міститься в бобах, тунці, скумбрії, солодкому перці, курячому м'ясі, шпинаті, білокачанній капусті та ін. Цей вітамін по-справжньому стійкий до впливу високої температури, а варення перерахованих продуктів навіть корисне, оскільки так В₆ звільняє свої активні компоненти

Вітамін В₉. Міститься в печінці, квасолі, шпинаті, броколі, ячній крупі, білих грибах і печерицях та ін. Погано переносить будь-яку термічну обробку, втрачаючи до 90% своїх властивостей. Особливо значні втрати цього вітаміну при варінні і консервації.

Вітамін С. Міститься в шипшині, солодкому перці, капусті, апельсинах, лимонах, часнику, шпинаті та ін. Не дарма ці продукти найчастіше їдять свіжими: відварюючи капусту, ми втрачаємо до 90% вітаміну, а тушкування знищує його на 50%. Кожна наступна термічна обробка готового блюда на 30% скорочує вміст у ньому вітаміну С.

Вітамін D. Міститься в рибі, печінці, курячих яйцях, вершковому маслі та ін. Добре переносить термічну обробку, якщо температура не перевищує 100 градусів. Руйнується багато в чому через вплив кисню, тому легко витримає стерилізацію продуктів.

Вітамін Е. Міститься в шипшині, рибі, м'ясі, пшениці, куразі, чорносливі, вівсяної і ячної крупі та ін. Практично не руйнується під впливом високої температури, але страждає від прямих сонячних променів.

Вітамін РР. Міститься в м'ясі птиці, кроля, яловичині, рибі, печінці та ін. Відмінно переносить будь-яку термічну обробку, консервування та заморожування.

Деякі помилки при вживанні вітамінів

Слід зазначити, що є люди, фанати здорового способу життя, які звикли суворо відбирати продукти харчування і збагачувати раціон прийомом аптечних препаратів полівітамінів і біодобавок.

Вітамін В₃. Довгі роки вважалося, що вітамін В₃ є буквально панацеєю від хвороб серця і старечого недоумства. У 2014 році це твердження було спростовано. У масштабному дослідженні брало участь майже 25 тисяч людей з різними серцево-судинними захворюваннями. Все вони були пацієнтами медичних центрів і клінік. Довгий час всі ці люди приймали вітамін В₃. Лікарі порівнювали їх дані і показники хворих, які таких біодобавок не отримували. Виявилось, що ніякої користі від додаткового прийому вітаміну В₃ немає. Він не знижує частоту серцевих ритмів, не підвищує рівень так званого «хорошого» холестерину, корисного для судин і мозку, і, в цілому, просто марний. Людині цілком достатньо їсти червону морську рибу (тунець, лосось) або просто звичайний червоний буряк, щоб отримувати достатню кількість цього елемента.

Вітамін Е. Цей вітамін вважається найпотужнішим антиоксидантом. У США і ряді країн Європи його активно рекламують як засіб, здатний попередити онкологічні захворювання. Цю тезу було спростовано в 2011 році під час досліджень чоловіків, хворих на рак простати. Виявилось, що ризик стати жертвою цієї страшної хвороби при додатковому прийомі вітаміну Е в разі збільшується. Не варто «годувати» аптеки на шкоду своєму здоров'ю. Щоб отримати достатній запас корисних речовин, краще регулярно їсти шпинат.

Фолієва кислота (вітамін В₉) Ця речовина часом стає причиною справжнього ажіотажу. Вважається, що фолієва кислота підвищує гемоглобін, стимулює синтез «гормонів щастя» і взагалі є мало не панацеєю від усіх хвороб. Це помилка, вітамін В₉ доцільно приймати тільки вагітним і жінкам, які планують найближчим часом стати матір'ю. Він бере участь у формуванні нових клітин, що і потрібно при вагітності. У чоловіків і жінок, які розмножуватися не збираються, додатковий прийом фолієвої кислоти може спровокувати утворення ракових клітин.

Вітамін С. Лікарі вже давно твердять, що прийом аскорбінової кислоти аж ніяк не вбереже від простудних захворювань. Надмірне вживання цього вітаміну призводить до утворення каменів у нирках. Щоб бути здоровим, людині цілком достатньо періодично їсти свіжі фрукти і овочі.

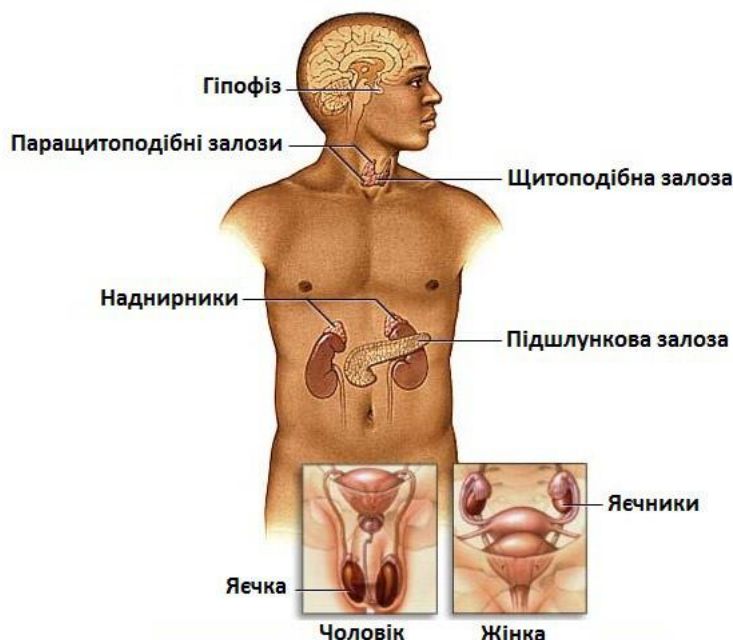
Налякане зростанням ракових захворювань людство щосили сподівається на **антиоксиданти**. До них відносять вітаміни А, Е і знову-таки С. Вважається, що ці речовини

нейтралізують вільні радикали, які і призводять до утворення ракових клітин. З антиоксидантів деякі люди зробили справжній культ. Але якби вони справді допомагали ефективно боротися з раком, то медицина давно б використала їх для лікування онкології.

Отже, здоровій людині не варто зловживати аптечними препаратами вітамінів без спеціальних рекомендацій на це лікаря. Прийом вітамінів повинен вестися з урахуванням статі, віку, загального стану організму, роботи, режиму харчування і після консультації лікаря. Більш доцільно їсти різноманітну збалансовану натуральну їжу, в ній наявні всі потрібні людині вітаміни. Крім того, зловживання вітамінними препаратами може призвести до звикання, травна система організму перестає ефективно засвоювати натуральні вітаміни присутні в продуктах харчування.

8. Гормони

Гормони – фізіологічно активні сполуки, що продукуються самим організмом і діють як регулятори метаболічних процесів та фізіологічних функцій в ньому. Біологічні ефекти спричинюються надзвичайно низькими концентраціями гормонів – 10^{-11} – 10^{-6} моль/л. Тому тривалий час їх визначення було досить складним.



Ендокринна система

Виробляються гормони як спеціальними органами, такими як щитовидна, підшлункова залоза, яєчники та ін., так і окремими ендокринними клітинами, які розкидані по всьому організму.

За допомогою гормонів регулюється ріст і розвиток організму, робота всіх його органів і систем, а також забезпечується адекватна реакція на зміни, що відбуваються у зовнішньому середовищі. Гормони також беруть участь у психічній діяльності людини, з їх допомогою формуються наші емоційні реакції. Якщо в організмі людини кількість гормонів відповідає певним показникам, то це говорить про нормальний гормональний фон. Але з різних причин гормональний фон організму може порушуватися. Крім того, існує низка спадкових і вроджених патологій спричинених порушеннями функціонування залоз *внутрішньої* (гіпофіз, епіфіз, щитоподібна і паращитоподібні залози, тимус і надиркові залози), *зовнішньої* (сальні залози, слинні, потові, молочні, слізні, мускусні залози і печінка) або *змішаної* (статеві залози і підшлункова залоза) секреції.

Властивості гормонів:

- надзвичайно висока фізіологічна активність,
- дистанційна дія,
- швидке руйнування в тканинах,
- безперервна секреція відповідної залозою,
- регулюють переважно процеси обміну речовин, які відбуваються всередині клітини,
- поступають до нервової системи в швидкості настання ефекту (відповіді).

Гіпоталамус

Гіпоталамус є зоною головного мозку, яка регулює активність гіпофіза і периферійних ендокринних залоз шляхом продукції в нейросекреторних клітинах специфічних гіпоталамічних гіпотропних гормонів та дії трансмітерів, що контролюють функції підпорядкованих залоз внутрішньої секреції за посередництвом симпатичної та парасимпатичної нервової системи. Гіпоталамус не можна віднести до залоз внутрішньої секреції, це швидше «посередник між нервовою і гуморальною регуляцією функцій», він впливає на гормональний фон організму опосередковано.

Гормони гіпоталамуса, які сприяють виділенню певних гормонів гіпофіза, позначають як *ліберини (релізінг-гормони)*, а біорегулятори, які гальмують виділення гіпофізарних гормонів - *статини (інгібуючі гормони)*.

На сьогодні виділено і встановлено хімічну природу більше десяти гормонів.

Релізінг-гормони. *Тироліберин:* під його впливом продукується і виділяється тиреотропний гормон гіпофіза. *Гонадоліберин (люліберин)* регулює продукцію та виділення гонадотропних гормонів ФСГ і ЛГ. *Соматоліберин* стимулює синтез і секрецію соматотропіну. *Кортиколіберин* стимулює виділення кортикотропіну. *Меланоліберин* стимулює синтез та виділення меланіну.

Інгібуючі гормони (статини). *Соматостатин* інгібує виділення гормону росту. Крім гіпоталамуса, він синтезується в панкреатичних острівцях. *Пролактостатин* гальмує продукцію пролактину, але виявляє гонадоліберинову активність. *Меланостатин* чинить інгібуючу дію на синтез і секрецію меланотропіну середньої долі гіпофіза.

Гіпофіз - найважливіша залоза внутрішньої секреції, її називають “королем залоз”, тому що вона регулює діяльність цілого ряду інших ендокринних залоз. Гіпофіз розташований в гіпофізарній ямці турецького сідла кліновидної кістки. Від порожнини черепа він обмежений діафрагмою сідла, яка утворена відростком твердої оболонки головного мозку. Сам гіпофіз оточений щільною сполучнотканинною оболонкою. Маса гіпофіза 0,5-0,7 г. У діафрагмі сідла є невеликий отвір, крізь який проходить лійка, що з'єднує гіпофіз з гіпоталамусом.

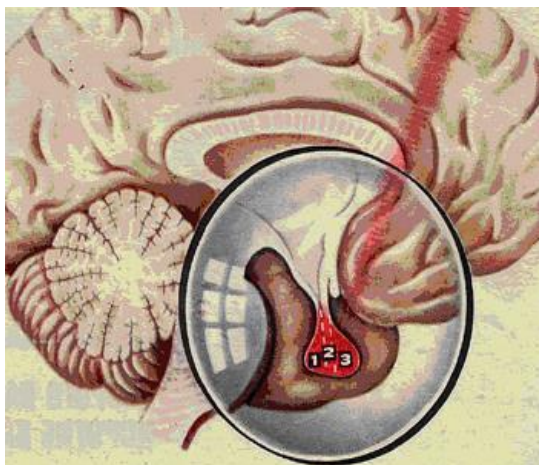
1. Передня частка (аденогіпофіз) виробляє:

Соматотропний гормон (СТГ, соматотропін) - гормон росту. Основна функція СТГ — стимуляція постнатального росту. Він стимулює проникнення амінокислот у клітини і підвищує синтез білків (анаболічна дія). В адипоцитах жирової тканини стимулює ліполіз (клітинна дія). СТГ впливає на обмін білків, жирів, вуглеводів, на ріст скелета та хрящової тканини. Норма СТГ у сироватці крові дорослих людей становить 1-10 нг/мл (в одиницях системи СІ - 46-465 пмоль/л). Максимум виділення СТГ спостерігається через 60-90 хв від початку сну (“Діти ростуть під час сну”).

Адренотропний гормон (АКТГ, кортикотропін) регулює ріст і функцію клітин кори надниркових залоз, підвищує синтез і секрецію їх стероїдів, підсилює перетворення холестерину на прогестерон (попередник стероїдів). Так, як й інші гормони, АКТГ зв'язується із рецепторами плазматичних мембран, активує аденілатциклазу в жирових клітинах, що призводить до активації ліполізу. У плазмі крові спостерігають максимальну концентрацію АКТГ з 8.00 до 10.00 ранку. Мінімальна концентрація становить до 10 пг/мл (в одиницях системи СІ - 22 пмоль/л).

Пролактин (лактотропін) — гормон, секреція якого регулюється гіпоталамічними факторами. Пролактин стимулює розвиток молочних залоз і лактації, ріст внутрішніх органів і

жовтого тіла та виявляє еритропоетичну і гіперглікемічну дію. Норма пролактину в сироватці крові людини становить 1-25 нг/мл (в одиницях системи СІ - 0,4-10 нмоль/л).

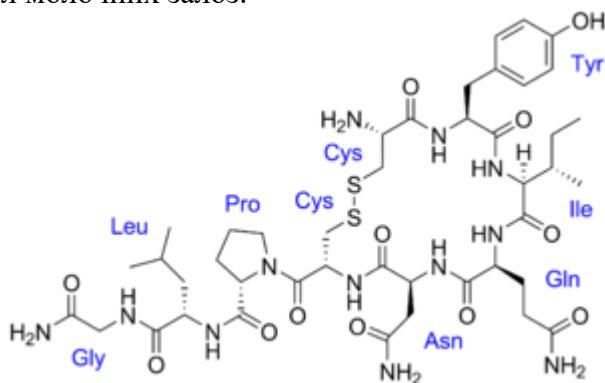


2. Середня частка виробляє меланофорний гормон, що сприяє синтезу пігменту меланіну.

3. Задня частка гіпофізу (нейрогіпофіз) продукує:

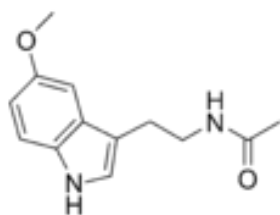
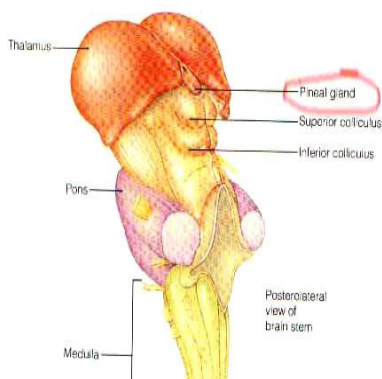
Антидіуретичний гормон (АДГ, вазопресин) виділяється у кров із задньої долі гіпофіза. Він стимулює реабсорбцію води в дистальних ниркових каналцях. У крові АДГ не зв'язаний з білками, період напівжиття становить 2-4 хв. Він регулює виведення з організму води й осмоляльність плазми крові, яка залежить від концентрації натрію. Швидке збільшення позаклітинної осмоляльності тільки на 2% призводить до призупинення його синтезу.

Окситоцин синтезується в гіпоталамусі, де зв'язується з білками і транспортується в задню частку гіпофіза. Основний біологічний ефект окситоцину пов'язаний із стимуляцією скорочення гладеньких м'язів матки під час пологів, м'язових волокон, розташованих навколо альвеол молочних залоз.



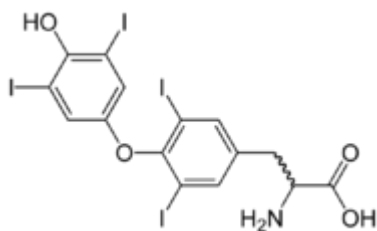
Окситоцин

Епіфіз або шишковидна залоза виробляє ряд біологічно активних речовин, які регулюють діяльність імунної системи, зростання, статеве дозрівання, пігментний і водно-сольовий обмін. Їх хімічна будова і роль в організмі ще до кінця не з'ясовані. Найбільше відомостей на сьогоднішній день про **мелатоніну**, що здійснює настройку біологічних ритмів (добові біоритми, місячні, сезонні). Розташований в самому центрі головного мозку, прикріплений до обох таламусів, має округлу форму, розміром з горошину, маса у дорослого досягає 0,2 г, раніше вважався «третім оком».

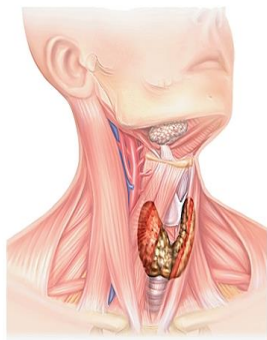
**Мелатонін**

Щитоподібна залоза – найбільша з залоз внутрішньої секреції, розташована на передньому боці ший, гортані, щитовидному хрящі трахеї. У щитовидній залозі розрізняють дві частки і перешийок, який знаходиться на рівні дуги паращитовидного хряща гортані. Маса залози у дорослої людини досягає 20-60 г. Регулює основний обмін і забезпечує кальцієвий гомеостаз крові.

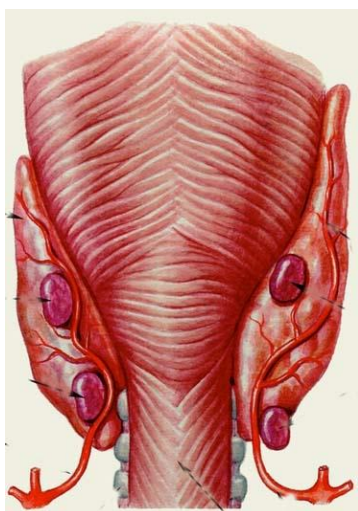
Тироксин (Т4 гормон, або *тетрайодтиронін*). Тиреоїдні гормони контролюють процеси енергетичного обміну, біосинтезу білка, росту, морфогенезу, стимулюють центральну нервову систему, прискорюють і роблять більш вираженими рефлекси. Найбільш активним гормоном є **трийодтиронін** або Т3 гормон (містить тільки три атоми йоду), який у 4-5 разів активніший від тироксину. Під дією гормонів щитоподібної залози активуються біоенергетичні процеси в тканинах. Норма тироксину в сироватці крові становить 5-12 мкг% (в одиницях системи СІ - 65-156 нмоль).

**Тироксин**

Кальцитонін (КТ, або *тіреокальцитонін*) - регулює і контролює засвоєння та обмін кальцію в організмі. Таким чином, саме цей гормон відповідає за формування і міцність скелета, а також зубів. Місцем дії є кістка, де гормон гальмує резорбцію матриксу і тим самим вивільнює кальцій і фосфор. Багато авторів вважають, що КТ сприяє входженню фосфору в клітини кістки і тим самим уповільнює вихід кальцію в плазму. Норма у сироватці крові - менше ніж 100 пг/мл, (в одиницях системи СІ - менше ніж 29,2 нмоль/л).

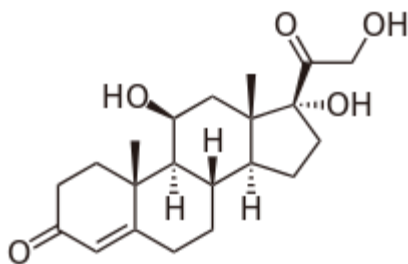


Прищитоподібні (паращитоподібні) залози – невеликі тільця, овальної форми. Всього їх є 4: 2 верхні і 2 нижні. Вони розташовані на задній поверхні бічних часток щитоподібної залози. Виробляють *паратгормон*, який регулює обмін кальцію і фосфору в організмі, впливає на передачу нервових імпульсів, утворення кісткової тканини, скорочення м'язів і багато інших фізіологічних процесів організму.



Надниркові залози розміщені безпосередньо на верхньому полюсі нирок. Маса залози — від 7 до 20 г, довжина — 5 см. Залоза складається з двох шарів: зовнішнього (кіркового) та внутрішнього (мозкового).

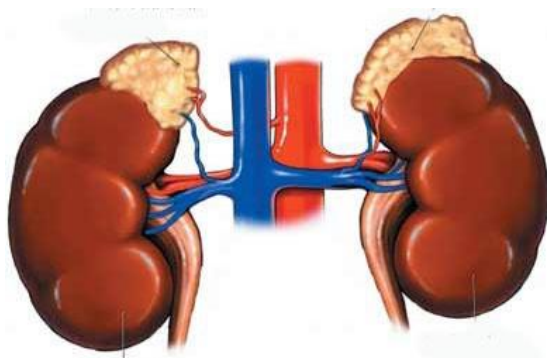
Кіркова речовина темно-бурого кольору. В ній розрізняють три зони: клубочкову, пучкову, сітчасту. Клубочкова зона утворена дрібними клітинами – адренкортикоцитами, що розташовані у вигляді клубочків. Ця зона виробляє гормони - мінералокортикоїди (альдостерон), які впливають на водно-сольовий обмін. Пучкова зона сформована великими світлими клітинами адренкортикоцитами, заповненими краплинками ліпідів. Пучкова зона виробляє глікокортикоїди (гідрокортизон, кортизол), що впливають на вуглеводний і білковий обмін. Кортизол і продукти його метаболізму становлять 80 % 17-гідрокортикостероїдів плазми крові. Вони стимулюють синтез глюкози шляхом глюконеогенезу. Норма загального кортизону (вільного і зв'язаного) у дітей (до 16 років) становить 3-21 мкг на 100 мл сироватки о 8.00 ранку (в одиницях системи СІ – 38-580 нмоль/л), у дорослих – 5-23 мкг на 100 мл сироватки о 8.00 ранку (в одиницях системи СІ – 138-635 нмоль/л).



Кортизол

У сітчастій зоні дрібні клітини, аденокортикоцити, містять у собі пігмент. Ця зона виробляє кортикостероїди (андрогени, естрогени) - їхня дія схожа з дією статевих гормонів. Андрогени виводяться із організму у вигляді 17-кетостероїдів. Тестостерон, який секретується наднирковими залозами і яєчками, не належить до 17-кетостероїдів, але в печінці половина всього тестостерону перетворюється на андростерон і етіохоланолон, які можуть кон'югувати з глюкуронідом і сульфатом, унаслідок чого утворюються водорозчинні сполуки 17-кетостероїди, які виводяться з організму. Норма у добовій сечі у дітей віком 10-14 років становить 1-6 мг/добу (в одиницях системи СІ – 3-21 мкмоль/добу), у дорослих чоловіків – 10-25 мг/добу (у одиницях системи СІ – 35-87 мкмоль/добу), у жінок – 6-14 мг/добу (у одиницях системи СІ – 21-49 мкмоль/добу). З віком концентрація зменшується.

Мозкова речовина надниркових залоз темно-коричневого кольору трохи темніша за кіркову речовину складається переважно з хромафінних клітин. Розрізняють два види хромафінних клітин: епінефроцити (виробляють адреналін) і норепінефроцити (виробляють норадреналін). Гормони мозкової речовини — адреналін та норадреналін прискорюють ритм скорочень серця, підвищують артеріальний тиск, звужують дрібні артерії, за винятком судин серця, легень і мозку. Адреналін розслаблює м'язи травного каналу, розширює зіницю ока, стимулює секрецію слізних і слинних залоз, підвищує обмін речовин. Він появляється в крові при збудженні симпатичної частини вегетативної нервової системи, впливає на внутрішньоклітинні процеси, а особливо на глікогеноліз і гліколіз. Він спричинює мобілізацію захисних сил організму в умовах стресової дії шляхом активації системи гіпофіз-гіпоталамус. У нормі адреналіну в плазмі міститься менше ніж 0,1 нг/мл (в одиницях системи СІ — менше ніж 0,55 нмоль/л). Норадреналін відіграє центральну роль у мобілізації вільних жирних кислот у жировій тканині. Норма у плазмі становить менше ніж 0,5 мкг/л (в одиницях системи СІ – 3 нмоль/л), у сечі 15-80 мкг/добу (в одиницях системи СІ – 89-473 нмоль/добу).



Параганглії — дрібні скупчення хромафінової тканини на шляху аорти і в симпатичних гангліях на поверхні або всередині органа. Параганглії є також по ходу сонних артерій, надсерцеві, попереково-аортальні. Параганглії зустрічаються також на підключичній і нирковій артеріях.. Функціонально вони схожі з мозковою речовиною надниркових залоз, тобто при збудженні виділяють гормон адреналін.

Підшлункова залоза – одна з великих залоз в тілі людини, її роль подвійна, крім гормонів, вона виділяє і підшлунковий сік для перетравлювання їжі. Як залоза зовнішньої

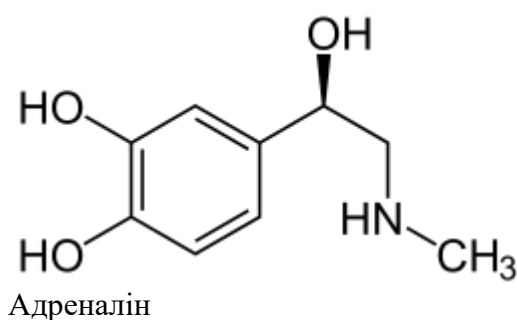
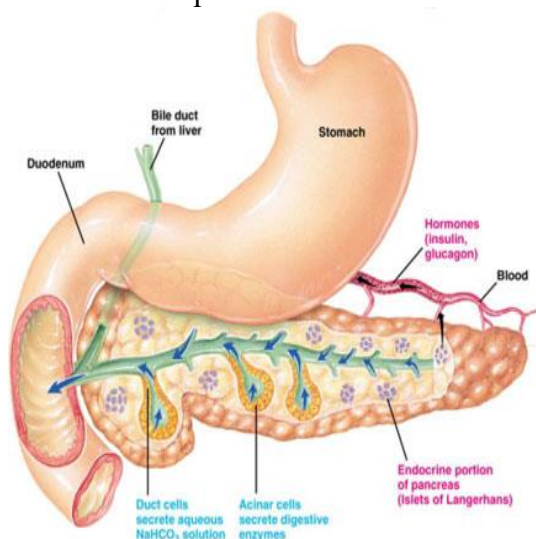
секреції вона має протоку, що відкривається на сосочку дванадцятипалої кишки, куди й надходить секрет залози. Ендокринну функцію виконують групи клітин, розміщені в тілі й хвості залози — вони називаються панкреатичними острівцями (Лангерганса). Кількість острівців у дорослої людини від 1 до 2 млн. Острівці складаються з клітин ендокриноцитів чотирьох типів: альфа, бета, Д, РР.

Бета-клітини (їх 60-80%) секретують гормон інсулін. Він регулює обмін вуглеводів, підвищує вміст глікогену в печінці. Норма у сироватці натще - 4-25 мкг/мл, (у одиницях системи СІ - 29-181 пмоль/л). Зниження показників спостерігають у хворих на цукровий діабет, гіпопітуїтаризм.

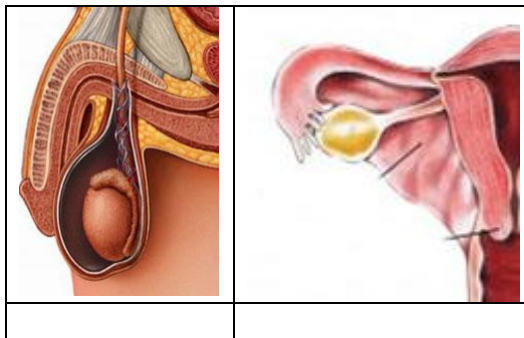
Альфа-клітини (їх 10-30%) виробляють гормон глюкагон. Він зв'язується із глюкагон-рецепторами гепатоцитів і активує аденілатциклазу, що призводить до прискорення розпаду глікогену і гальмування його синтезу в печінці, збільшуючи вміст глюкози в крові. Норма в плазмі крові у дітей віком 4-14 років - 0-148 пг/мл, у дорослих - 20-100 пг/мл. Підвищення вмісту спостерігають у хворих на цукровий діабет, при хронічній нирковій недостатності, гіперліпопротеїнемії III і IV типу, акромегалії, синдромі Кушінга, важкому панкреатиті.

Д-клітини синтезують соматостатин, він зменшує виділення гіпофізом гормону росту, а також виділення інсуліну і глюкагону альфа- і бета-клітинами.

РР-клітини синтезують панкреатичний поліпептид, який стимулює виділення шлункового та панкреатичного соків.



Статеві залози (гонади) продукують як гормони, так і утворюють статеві продукти (яйцеклітини та сперматозоїди). Розрізняють чоловічі гонади – сім'яники та жіночі – яєчники. Продукують чоловічі статеві гормони - андрогени, жіночі - естрогени, прогестини.



Фолікулостимулюючий гормон (ФСГ) у жінок відповідає за овуляцію і вміст естрогену, а у чоловіків впливає на кількість тестостерону і відповідає за дозрівання сперматозоїдів.

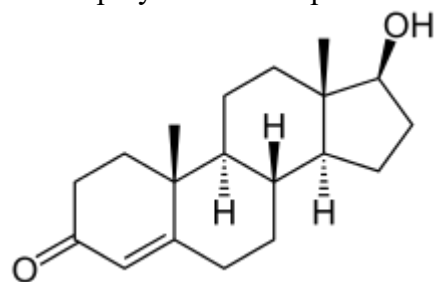
Лютеїнізуючий гормон (ЛГ) впливає на овуляцію і дозрівання яйцеклітини і жовтого тіла у жінок. У чоловіків – регулює кількість тестостерону в крові і впливає на дозрівання сперматозоїдів.

Пролактин важливий для овуляції, необхідний для нормального утворення молока у жінки після пологів. У чоловіків кількість цього гормону впливає на статеву функцію.

Естрадіол важливий для нормальної підготовки матки до вагітності, впливає на встановлення менструального циклу і розвиток яйцеклітини.

Прогестерон готує матку для виношування дитини.

Тестостерон – це чоловічий статевий гормон, який необхідний також і жінкам. Високий його вміст у жінок може привести до викиднів. Низький вміст цього гормону у чоловіків погіршує якість сперми.



Тестостерон

Особливості гормонального обміну

Гормональний фон постійно коливається, підлаштовуючись під мінливі умови. Але іноді ці коливання занадто великі і можуть призводити до збою системи. Тоді виникають стійкі порушення гормонального фону. Симптомами таких порушень можуть бути:

- зниження ваги при доброму апетиті
- підвищене потовиділення
- тремор рук
- аритмія
- безсоння
- свербіж і висипання на шкірі
- різкий набір ваги
- сильні перепади настрою

Ці та багато інших симптомів можуть говорити про гормональне розбалансування, що призводить до виникнення різних захворювань. Зазвичай визначається вміст гормонів в крові. Для цього береться аналіз крові з вени. Для складання кожного гормону існують особливі умови, яких треба дотримуватися, щоб аналіз був достовірним. Найчастіше аналізи на гормони призначають при підозрі на порушення в роботі щитовидної залози і при захворюваннях жіночої та чоловічої статевої сфер. У певних випадках роблять аналізи на гормони надниркових залоз і гормон росту.

Уже в процесі ембріонального розвитку функціонують деякі ендокринні залози, впливаючи на формування плода (вилочкова залоза, шишкоподібне тіло, інсулярний апарат підшлункової залози, корковий шар надниркових залоз).

Від року до 6-7 років особливо впливають на організм гормони Щитоподібної залози, шишкоподібного тіла і вилочкової залози. На кінець цього періоду посилюється активність передньої частини гіпофіза, гормони якої є головним фактором, що визначає лінійний ріст дітей аж до періоду статевого дозрівання.

Від 7 до 15-16 років посилюється функція гіпофіза, виразно виявляється діяльність статевих залоз, відбуваються складні нейрогормональні зрушення: знижується гальмівний вплив епіфіза на підзгір'я, посилюється секреція гонадотропних гормонів гіпофіза, в крові наднирників починають посилено вироблятися андрогени і естрогени, які зумовлюють появу вторинних статевих ознак.

Уся діяльність ендокринних залоз регулюється нервовою системою. При порушеннях діяльності ендокринних залоз виникають різні захворювання: посилення діяльності залози – **гіперфункція** (від грец. *hyper* – над), коли утворюється і виділяється в кров надмірна кількість гормону, і послаблення діяльності залози – **гіпофункція** (від грец. *hypo* – під, пониження), коли утворюється і виділяється в кров мало гормону.

При **гіперфункції щитоподібної залози** людина хворіє на базедову хворобу, яку вперше описав у 1840 році німецький лікар Карл Базедов (1799-1854), а при **гіпофункції** – на мікседему і кретинізм. Характерними ознаками захворювання на базедову хворобу є збільшення щитоподібної залози (зоб), витрішкуватість (очні яблука виступають із орбіт), підвищується обмін речовин, який супроводжується значним схудненням. У хворих на мікседему обличчя стає одутлим і набряклим, шкіра стає сухою і грубою, волосся випадає, обмін речовин різко падає. Збудливість нервової системи зменшується, психічна діяльність порушується, спостерігається розумова відсталість, працездатність різко падає. Недостатність функції щитоподібної залози у дитячому віці приводить до кретинізму. При цьому затримується ріст і порушуються пропорції тіла, затримується статевий розвиток, відстає психічний розвиток дитини.

При **гіпофункції прищитоподібних** (паращитоподібних) залоз відбувається зниження вмісту кальцію в крові, що приводить до судорожних скорочень м'язів ніг, рук, тулуба і обличчя — тетанії. Кістки розм'якшуються, спотворюючи скелет людини. А нирки, навпаки, "кам'яніють", бо в них кальцій відкладається у вигляді вапна. **Гіперфункція** спричиняє надмірне окостеніння, підвищення вмісту кальцію в крові, тимчасове підвищення збудливості великих півкуль головного мозку, а потім гальмування. В тканині нирок, у кровноносних судинах серця, слизовій оболонці шлунка і бронхіол відбувається відкладення солей кальцію.

Гіпофіз. Нестача соматотропіну проявляється в карликовості (зріст менше 130 см), затриманні статевого розвитку, пропорції тіла при цьому зберігаються. Психічний розвиток гіпофізарних карликів звичайно не порушений. При надмірному розростанні передньої частки гіпофіза і посиленій секреції соматотропіна дитина росте ненормально швидко і виростає гігантом (до 260 см). Ріст відбувається в основному за рахунок нижніх кінцівок, але грудна клітка відстає в своєму розвитку, плечі вузькі, діти кволі. У дорослих підвищення виділення цього гормону (наприклад через травму голови) викликає хворобу акромегалію, внаслідок цього збільшуються розміри не всього тіла, а тільки окремих його частин — носа, підборіддя, язика, рук, ніг, вигляд людини спотворюється.

Адренкортикотропний гормон впливає на діяльність кори надниркових залоз. Збільшення гормону у крові зумовлює гіперфункцію кори надниркових залоз, що призводить до порушення обміну речовин, збільшення кількості цукру в крові.

Пролактин впливає на вироблення молока в молочних залозах. При його нестачі продукування молока знижується.

Меланотропін регулює забарвлення шкірного покриву. Недостатність цього гормону призводить до порушення процесів розподілу пігменту в клітинах, шкіра втрачає свою пігментацію.

Епіфіз допомагає людині пристосовуватися до зміни дня і ночі (біологічний годинник), до інших природних ритмів. Вважають також, що епіфіз гальмує швидкий ріст скелета, розвиток статевих залоз. Пригнічення діяльності епіфіза у дітей спричиняє передчасний статевий розвиток (у 8-10-річних хлопчиків з'являються статеві ознаки дорослих чоловіків) і затримання росту унаслідок гальмівної дії на гіпофіз.

Наднирники. Коли утворення **глікокортикоїдів** недостатнє, відбувається зміщення гормонального балансу в бік мінералокортикостероїдів (альдостерону, дезоксикортикостерону), котрим властива протизапальна функція. Це сприяє розвитку ревматичного запалення у серці та суглобах, а також розвитку бронхіальної астми. Надлишок глікокортикоїдів пригнічує запальний процес, який за певних умов затримує розповсюдження інфекції, він сприяє генералізації інфекційного процесу. Підвищується кров'яний тиск, вміст цукру в крові, може виникнути гіпертонічна хвороба або так званий стероїдний діабет. Під впливом глікокортикостероїдів відбувається посилений розпад білка, що може привести до руйнування, змертвіння тканини серцевого м'яза, до виникнення виразок на слизовій оболонці шлунка та кишечника.

Альдостерон регулює співвідношення йонів натрію і калію в організмі, а відтак і водний обмін, який невідривно пов'язаний з обміном натрію. Відхилення при зниженні секреції альдостерону призводить до втрати організмом натрію і великої кількості води (зневоднення) з одночасним накопиченням калію. Зменшується кількість циркулюючої крові, падає кров'яний тиск.

Гіперфункція кори надниркових залоз супроводжується передчасним утворенням статевих гормонів, що викликає ранню статеву зрілість. Крім того, змінюються вторинні статеві ознаки. У жінок може з'явитися борода, припинитися менструація тощо. Гіпофункція кори надниркових залоз веде до розвитку бронзової (адісонової) хвороби, яка проявляється бронзовим забарвленням шкіри, підвищеною стомлюваністю, зниженням опірності організму інфекційним захворюванням.

У дітей з природженим недорозвитком **вилочкової залози** розвивається різка недостатність лімфоцитів, у крові немає гамма-глобуліну, з яким пов'язано утворення антитіл. Такі діти гинуть у віці 2-5 місяців. Вважають, що між вилочковою залозою і статевими залозами існує певний взаємозв'язок: вилочкова залоза гальмує активність статевих залоз, а статеві гормони спричиняють поступове зменшення маси вилочкової залози, різке зниження її функції.

При захворюваннях **підшлункової залози**, які приводять до зниження вироблення інсуліну (**гіпофункція**), більша частина вуглеводів, які надходять в організм, не затримуються в ньому, а виводяться з сечею. Це приводить до цукрового сечовиснаження (цукровий діабет).

Гіперфункція острівців Лангерганса, а також уведення в організм великих доз інсуліну призводить до значного зменшення концентрації глюкози в крові та гіпоглікемічного або інсулінового шоку. Явища шоку швидко знімаються введенням розчину глюкози.

При **гіперфункції статевих залоз** у ранньому віці спостерігається передчасне статеве дозрівання, швидкий ріст тіла і розвиток вторинних статевих ознак.