

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ

Кафедра біохімії та гігієни

**Параняк Н.М.**

**Ферменти**

Лекція з навчальної дисципліни

**«Біохімія»**

для студентів спеціальності **241 Готельно–ресторанна справа**

(шифр і назва спеціальності)

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

на засіданні кафедри

біохімії та гігієни

«31» серпня 2018 р. протокол № 1

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Ю.Р.Борецький

Лекція  
**Ферменти**  
План

1. Загальна характеристика ферментів, будова, біологічне значення.
2. Механізм дії ферментів.
3. Номенклатура та класифікація ферментів.
4. Активність ферментів, вплив на неї різних факторів.
5. Коферменти
6. Ізоферменти
7. Використання ферментів у медицині. Імобілізовані ферменти
8. Окиснення алкоголю в печінці. Механізм дії алкогольдегідрогенази

**1. Загальна характеристика ферментів, будова, біологічне значення.**

Ферменти (ензими) (від лат. *fermentum*— закваска) – біологічні каталізатори білкової природи. Наука – ензимологія.

На сьогодні відомо близько 2000 ферментів.

Усі відомі ферменти – це білки, тому вони мають велику молекулярну масу і можуть мати три або чотири рівні структурної організації. Молекулярна маса ферментів знаходиться в межах від 10 000 до 2 000 000.

Ферменти складаються з великого числа амінокислот, сполучених між собою пептидними зв'язками (первинна структура). Молекули містять гідрофобний ланцюг (вуглеводневий радикал) і полярні групи: - COOH, - NH<sub>2</sub>, = NH, - OH, - SH. Між окремими ділянками поліпептидного ланцюга за участю цих полярних груп утворюються водневі зв'язки і тому макромолекули ферментів по-різному згинаються, утворюючи нещільні клубки. Виникає чітко визначена й індивідуальна для кожного взятого ферменту вторинна структура. На певній ділянці такої структури утворюється активний каталітичний центр, тобто частина ферменту, яка бере участь у безпосередній взаємодії з

субстратом. Активний центр складається лише з кількох залишків амінокислот, а в металоферментах - ще з йонів металу, які надають макромолекулі ферменту чіткої геометричної конфігурації. Тому ферменти характеризуються високою специфічністю, вибірково прискорюючи тільки певні типи біохімічних реакцій. Наприклад, фермент декарбоксилаза відщеплює від амінокислоти карбоксильну групу і не діє на аміногрупу цієї кислоти. Для відщеплення від амінокислоти аміногрупи існує фермент трансаміназа.

В активному центрі складного ферменту розташований кофактор, без якого каталітичні перетворення неможливі.

Активний центр: поліпептидний білковий ланцюг утворює кишеню, в якій іде перетворення субстрату (може зайти субстрат лише певної конфігурації).

Активний центр має дві ділянки:

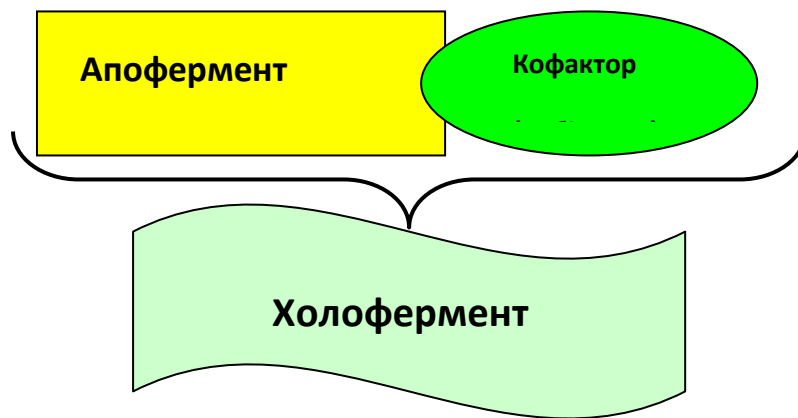
- 1) якірну (контактна), де відбувається зв'язування субстрату з функціональними групами активного центру;
- 2) каталітичну – в цій ділянці безпосередньо відбуваються каталітичні перетворення.

Крім активного центру деякі ферменти можуть мати алостеричний (*регуляторний*) центр – це функціонально активна ділянка ферменту, з якою зв'язуються молекули-активатори (підвищують активність ферменту) та інгібітори (гальмують роботу ферменту).

Залежно від будови ферменти поділяють на дві групи:

- 1) прості (однокомпонентні, ферменти-протеїни);
- 2) складні (двокомпонентні, ферменти-протеїди).

Прості ферменти мають лише білкову частину, складні – білкову та небілкову складові. Значна кількість відомих ферментів – складні, робота яких потребує обов'язкової наявності небілкового компонента. Схематично структура складного ферменту зображена на рисунку.



### *Будова складного ферменту*

Таким чином, *холофермент* – це активний комплекс ферменту, обов'язковою складовою якого є кофактор. Залежно від хімічної природи та міцності зв'язків між білковою та небілковою частинами ферменту можна виділити *три групи кофакторів*:

- 1) *кофермент* – небілкова органічна молекула, яка нековалентно зв'язана з апоферментом та може легко відділятися від нього;
- 2) *простетична група* – небілкова органічна молекула, яка міцно, тобто ковалентно, зв'язана з білковою частиною ферменту, та не може бути відділена від неї;
- 3) *іони металів* ( $K^+$ ,  $Fe^{++}$ ,  $Fe^{+++}$ ,  $Cu^{++}$ ,  $Co^{++}$ ,  $Zn^{++}$ ,  $Mn^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mo^{+++}$ ), які називають кофакторами.

Для пояснення деталей будови та функціонування ферментів необхідно ввести такі поняття, як «субстрат» та «продукт» реакції.

Субстрат - це хімічна сполука або речовина, перетворення якої і каталізує той чи інший фермент.

Субстратом (S) називають молекулу, яка під дією ферменту перетворюється на кінцевий продукт реакції (P):  $S \rightarrow P$ .

## **2. Механізм дії**

Примітивно - Модель ключ-замок, рукавичка.

Значну роль у розвитку уявлень про механізм дії ферментів відіграли праці німецьких вчених Л. Міхаеліса та М. Ментена.

Саме вони розвинули положення про формування фермент-субстратного комплексу при біологічному каталізі.



Сучасні погляди – пришвидшення пов'язане із зміною енергії активації

### 3.Класифікація та номенклатура ферментів

Залежно від типу реакції, яку каталізують ферменти, виділяють 6 класів. Кожен фермент має свій код або шифр (КФ) – це номер ферменту за міжнародною класифікацією.

В основу класифікації ферментів покладено тип реакції каталітичної дії.

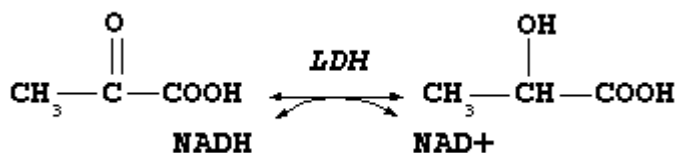
1. Оксидоредуктази – прискорюють реакції окислення/відновлення.
2. Трансферази – прискорюють реакції перенесення функціональних груп і молекулярних залишків.
3. Гідролази – прискорюють реакції гідролітичного розкладу.
4. Ліази – прискорюють реакції не гідролітичного відщеплення від субстратів певних груп атомів с утворенням подвійного зв'язку (або приєднання груп атомів за подвійним зв'язком).
5. Ізомерази – прискорюють просторові або структурні перебудови в межах однієї молекули.

6. Лігази – прискорюють реакції синтезу, спряжені з розкладом багатих енергією зв'язків

У 1961 році з'явилася номенклатура ферментів, Згідно з цією номенклатурою назва будь-якого ферменту обов'язково містить назву субстрату (субстратів), тип реакції та закінчення –аза. Кожен фермент має робочу та систематичну назви.

Наприклад, лактатдегідрогеназа (ЛДГ або LDH) – це робоча назва ферменту, який каталізує зворотну окисно-відновну реакцію перетворення лактату в піруват ЛДГ має систематичну назву - L-лактат:НАД<sup>+</sup> - оксидоредуктаза.

Такі систематичні назви надають лише добре вивченим ферментам.



Піруват

Лактат

Лактатдегідрогеназна реакція

Номенклатура ферментів

Робоча (зручна для використання)

назва ферменту = хім.назва субстрату + «-аза»

мальтоза + «-аза» = мальтаза

назва ферменту = хім.назва субстрату + *тип хім. реакції* + «-аза»

лактат + *дегідрогенізація* + «-аза» = лактатдегідрогеназа

історично усталена (тривіальна) назва

пепсин, тромбін, трипсин, ренін

2. Систематична побудована за типом хімічної реакції згідно класифікації ферментів (КФ)

Систематична назва =

Субстрат 1: Субстрат 2 - *тип хім.реакції за КФ* + «-аза»

L-Лактат: НАД<sup>+</sup> - оксидоредуктаза

(*лактатдегідрогеназа*)

Назву ферментів за тривіальною номенклатурою утворюють так. Спочатку називають субстрат, на який діє фермент, потім тип реакції, яку він каталізує, і додають закінчення -аза. Наприклад, назва ферменту, що каталізує процес окиснення спиртів, утворюється так:

*Алкоголь + дегідрогенізація + аза = Алкогольдегідрогеназа.*

Для деяких давно відомих ферментів залишилися раніше вживані традиційні назви, наприклад: пепсин (відкритий у шлунковому соку в 1836 р.), трипсин, каталаза, амілаза та ін.

Назви ферментів за систематичною номенклатурою дещо складніші і розглядаються в курсі біохімії.

#### **4. Активність ферментів, вплив на неї різних факторів**

##### *Специфічність дії ферментів*

Специфічність дії – фермент може каталізувати перетворення одного певного субстрату або групи подібних за структурою субстратів.

Виділяють три основні види специфічності:

1. стереохімічна – фермент може каталізувати перетворення лише одного стереоізомера (цис- або транс-; L- або D-).
2. абсолютна – фермент здатний каталізувати перетворення лише одного субстрату
3. відносна – фермент каталізує перетворення групи подібних субстратів, Наприклад: протеолітичні ферменти ШКТ (пепсин, трипсин, хімотрипсин та ін.) гідролітично розщеплюють білки та пептиди, але не діють на інші компоненти їжі.

Основними одиницями вимірювання активності є:

1. *міжнародна одиниця активності (МО)*: 1 МО відповідає такій кількості ферменту, яка каталізує перетворення 1 мкмоля субстрату за 1 хвилину при оптимальних умовах роботи ферменту (температури, рН, відсутність інгібіторів або активаторів);

1) *катал* – нова одиниця, яка була прийнята у 1973 році:

1 катал (кат) відповідає такій кількості каталізатора, який перетворює 1 моль субстрату за 1 секунду.

### *Загальні властивості*

можна виділити для всіх них:

- 1) каталізують лише енергетично можливі реакції;
- 2) прискорюють як пряму, так і зворотну реакцію, але не зміщують напрямку хімічної рівноваги;
- 3) у ході реакції не змінюються та не входять до складу кінцевого продукту;
- 4) мають високу специфічність дії (здатність каталізувати перетворення однієї або групи подібних молекул);
- 5) значно більш ефективні, ніж звичайні небіологічні каталізатори
- 6) діють у відносно м'яких умовах (фізіологічних значеннях рН, температури, нормальному атмосферному тиску) –

*концентрація субстрату* – чим вища, тим швидше. При низькій концентрації – іде повільно, при високій зростає і стабілізується – стає постійною (насичення ферменту субстратом). Подальше збільшення концентрації – уповільнення реакції.

*Концентрація ферменту* – швидкість реакції прямо пропорційна кількості фермента.

- 7) вони є каталізаторами, активність яких може бути регульована, тобто збільшена або зменшена.

*Регуляція ферментативних процесів: активатори та інгібітори. Шляхи та механізми регуляції*

Ферменти – це каталізатори, активність яких може бути регульована.

Можуть змінювати ферментативну активність:

- *інгібітори* – сполуки, які гальмують активність ферменту;
- *активатори* – сполуки, які збільшують ферментативну активність.

Може регулюватись кінцевим продуктом реакції – це принцип зворотного зв'язку.



*Каталітична активність* ферменту – це здатність ферменту перетворювати визначену кількість молекул субстрату, тоді як сам він до кінця реакції залишається незмінним.

Ферменти розрізняються по своїй каталітичній здатності. Цей показник називається «числом оборотів ферменту». Число оборотів варіює від 1 до  $10^6$  залежно від природи ферменту. Каталітичну активність ферментів виражають в одиницях активності. Міжнародна одиниця активності (E) — це кількість ферменту, яка каталізує перетворення 1 мкмоль субстрату за 1 хвилину в оптимальних умовах. Одиниця активності в системі СІ - катал – відповідає кількості ферменту, яка каталізує перетворення 1 моля субстрату в 1 секунду.

Співвідношення між одиницями активності: 1 E = 16,67 нанокатал; 1 катал =  $6 \times 10^7$  E. У медицині активність ферментів виражають найчастіше в одиницях активності на 1 л біологічної рідини – ммоль/год/л.

Питома активність ферменту — це активність ферменту, виражена в одиницях активності на 1 мг (або 1 г) білка або 1 мг (1г) препарату ферменту. Використовується в біохімічній практиці.

Активатори ферментів – сполуки, які приводять ферменти в каталітично активний стан. Іноді це можуть бути іони металів:  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  і ін. Інгібітори ферментів – сполуки, які пригнічують активність ферментів. Інгібірування може бути оборотним або необоротним

## **5. Коферменти**

50% усіх відомих ферментів містять коферменти. Коферменти мають високу хімічну активність при каталітичному перетворенні субстрату в продукт. Тому наявність у реакційному середовищі коферменту в необхідній структурній формі також впливає на швидкість ферментативного процесу.

Усі коферменти можуть бути класифіковані залежно від хімічної природи, типу реакції, яку вони каталізують, класу ферментів, до складу яких вони можуть входити.

Класифікація коферментів за хімічною природою:

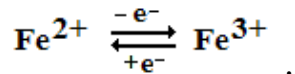
невітамінні;

вітамінні;

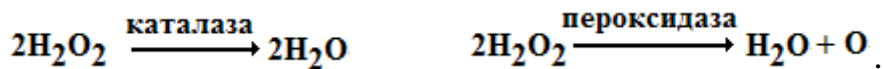
вітаміноподібні.

До *невітамінних коферментів* належать: гем, глутатіон, нуклеотиди.

*Гем.* Структурною основою гему є протопорфірин IX, який складається з 4 пірольних кілець, які з'єднанні метиновими містками. До складу гему входить іон металу зі змінною валентністю (залізо або мідь), тому він може брати участь в окисно-відновних реакціях – віддавати та приймати електрони:



Гем, наприклад, входить до складу цитохромів мітохондрій, які транспортують електрони із субстратів на кисень і створюють умови для синтезу АТФ. Крім того, гемвмісними ферментами є каталаза та пероксидаза:



*Глутатіон* – це трипептид, який містить SH-групу (однин з амінокислотних залишків – цистеїн). Ця група може брати участь у транспорті атомів водню і приєднанні молекул субстратів. Саме тому глутатіон входить до складу ферментів антиоксидантної системи клітин (глутатіонредуктаза та глутатіонпероксидаза) та бере участь у реакціях кон'югації при знешкодженні чужорідних сполук (глутатіон-S-трансфераза).

*Нуклеотиди* (АТФ, ГТФ, УТФ, ЦТФ, ТТФ) беруть участь у транспорті фосфатних груп при утворенні активних форм деяких сполук (глюкозо-6-фосфату, УДФ-глюкуронової кислоти, УДФ-холіну та ін.), які необхідні для синтезу більш складних молекул (глікогену, кон'югатів, фосфоліпідів та ін.).

До *вітаміноподібних коферментів* належать: ліпоева кислота, коензим Q, хінонові коферменти, карнітин та ін.

*Ліпоева кислота* бере участь у реакціях окисного декарбоксилювання і входить до складу таких мультиферментних комплексів, як піруватдегідрогеназа і  $\alpha$ -кетоглутаратдегідрогеназа.

*Коензим Q* – жиророзчинний кофермент, який може транспортувати електрони та протони і тому бере участь у окисно-відновних реакціях при роботі дихального ланцюга мітохондрій (робота цього ланцюга необхідна для синтезу енергії у клітині).

*Хінонові коферменти* (топахіон, триптофан-триптофілохіон та ін.) утворюються при конденсації глутамату та тирозину; беруть участь у транспорті атомів водню. Ці коферменти є складовою моноамінооксидази (MAO), гістаміназ тощо.

*Карнітин* необхідний для транспорту жирних кислот у мітохондрії для подальшого їх окиснення та продукції АТФ.

До вітамінних коферментів належать похідні водорозчинних вітамінів.

#### Вітамінні коферменти

Назва вітаміну	Кофермент(и)	Функція
<i>B<sub>1</sub></i> (тіамін)	ТПФ(тіамінпірофосфат)	Транспорт гідроксиалкільних груп
<i>B<sub>2</sub></i> (рибофлавін)	ФАД, ФМН	Участь в окисно-відновних реакціях (транспорт гідроксид-іонів)
<i>PP</i> (нікотинова кислота)	НАД, НАДФ	Участь в окисно-відновних реакціях (транспорт гідроксид-іонів)
<i>Фолева кислота</i>	ТГФК (тетрагідрофолева кислота)	Транспорт одноуглецевих фрагментів (C <sub>1</sub> -обмін)
<i>C</i> (аскорбінова кислота)	Невідомі	Участь в окисно-відновних процесах (реакції гідроксилування, антиоксидантна функція)
<i>Пантотенова кислота</i>	Коензим А	Активація і транспорт залишків карбонових кислот
<i>B<sub>6</sub></i> (піридоксин)	ПАЛФ, ПАМФ	Транспорт NH <sub>2</sub> -груп, реакції декарбоксилування

*Класифікація коферментів за механізмом дії:*

переносники атомів водню, протонів, електронів;

переносники окремих хімічних груп.

*Класифікація коферментів відповідно до класу ферментів.*

За сучасною класифікацією виділені 6 класів ферментів, тому можна було б припустити, що існують коферменти кожного класу ферментів. Але відомо, що гідролази – це прості ферменти, тому цей клас взагалі не має коферментів. У таблиці наведені приклади коферментів для кожного класу ферментів.

*Кофермент відповідно до кожного класу ферментів*

Ном ер класу ферментів	Назва класу ферментів	Приклади коферментів
1	Оксидоредуктази	НАД, НАДФ, ФАД, ФМН, глутатіон
2	Трансферази	ПАЛФ, ТГФК, біотин, КоА, метилкобаламін, глутатіон
3	Гідролази	відсутні
4	Ліази	ПАЛФ, ТДФ
5	Ізомерази	НАДФ, ПАЛФ, глутатіон
6	Лігази	Біотин, нуклеотиди (УТФ), ТГФК

Приблизно 50% усіх відомих ферментів містять коферменти.

## **6.Ізоферменти**

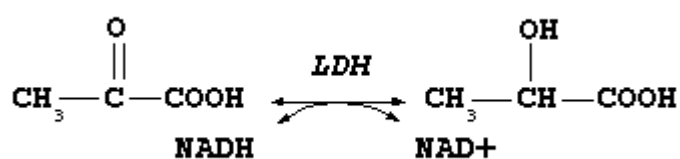
*Ізоферменти (ізозоми)* – це множинні генетично детерміновані форми одного ферменту, які каталізують одну й ту саму хімічну реакцію, але відрізняються за будовою, фізико-хімічними, імунологічними та каталітичними властивостями.

Лише ферменти з четвертинною структурою можуть мати ізоферментні форми, які формуються в результаті комбінацій різних субодиниць.

Наявність та вміст ізоферментів у тканинах залежать від особливостей метаболізму в ній. Тому визначення активності ізоферментів в крові успішно використовується для діагностики захворювань внутрішніх органів.

Класичним прикладом ізоферментів є ізоферменти *лактатдегідрогенази* (ЛДГ або LDH).

Цей фермент каталізує реакцію зворотного перетворення лактату в піруват:



Піруват

Лактат

Молекула ЛДГ містить чотири субодиниці двох видів

## 7. Використання ферментів у медицині. Імобілізовані ферменти

У медичній ензимології виділяють три напрямки:

- ензимопатологія;
- ензимодіагностика;
- ензимотерапія.

*Ензимопатологія* вивчає молекулярні хвороби, причина виникнення яких пов'язана з дефіцитом або повною відсутністю ферментів (ензимопатії). На сьогодні відомо більш ніж 1000 ензимопатій різних видів обміну (фенілкетонурія, альбінізм, гомоцистинурия, глікогенози тощо). Детальне вивчення молекулярних причин і наслідків цих захворювань наближає до розроблення ефективних методів діагностики та терапії.

*Ензимодіагностика* дає змогу використовувати визначення активності ферментів у біологічних рідинах людини для встановлення діагнозу. Найчастіше використовується визначення активності ферментів крові.

*Ензимотерапія* вивчає і використовує можливості використання ферментів для лікування захворювань. Цей розділ медичної ензимології розвивається у двох напрямках:

- 1) замісна (специфічна компенсаторна), яка пов'язана із введенням ферменту при його дефіциті в організмі;
- 2) у комплексній терапії захворювань разом з іншими лікарськими засобами або заходами.

Замісна терапія найчастіше використовується для лікування розладів ШКТ. Для поліпшення процесів травлення використовують лікарські препарати, які містять ферменти травлення (пепсин, панкреатин, фестал та ін.).

Як додаткові лікарські засоби у комплексній терапії захворювань використовують протеолітичні ферменти:

- при гнійно-некротичних процесах;
- як відхаркувальні засоби.

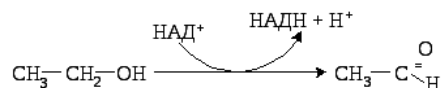
Для розчинення тромбів використовують фібринолітичні ферменти (наприклад, стрептокіназу). З метою розсмоктування гематом та рубців після травм, опіків, операцій використовують препарат, який містить гіалуронідазу - фермент, що розщеплює гіалуронову кислоту в сполучній тканині (препарат – лідаза).

## **8. Окиснення алкоголю в печінці. Механізм дії алкогольдегідрогенази**

Шляхи метаболізму, а також дія алкоголю на функціонування різних органів людини добре вивчені. Однак остаточно не встановлено, що призводить до звикання до алкоголю і формування фізичної залежності від нього.

Етиловий спирт постійно утворюється в організмі людини. В невеликих кількостях (4- 5 г/добу) етанол поступає з деякими харчовими продуктами. 10- 100- кратне збільшення цієї концентрації призводить до сп'яніння людини. При високих концентраціях в крові (0,4- 0,7 %) можуть наступати коматозний стан і зупинка дихального центру.

При попаданні в організм етанол через травний тракт всмоктується в кров. Невелика кількість його виділяється через нирки і легені, а біля 99 % окиснюється в печінці. Тому цілком зрозуміло, що печінка найчутливіша до токсичної дії етанолу і його метаболітів. Під дією алкогольдегідрогенази печінки етанол окиснюється у високотоксичний ацетальдегід:

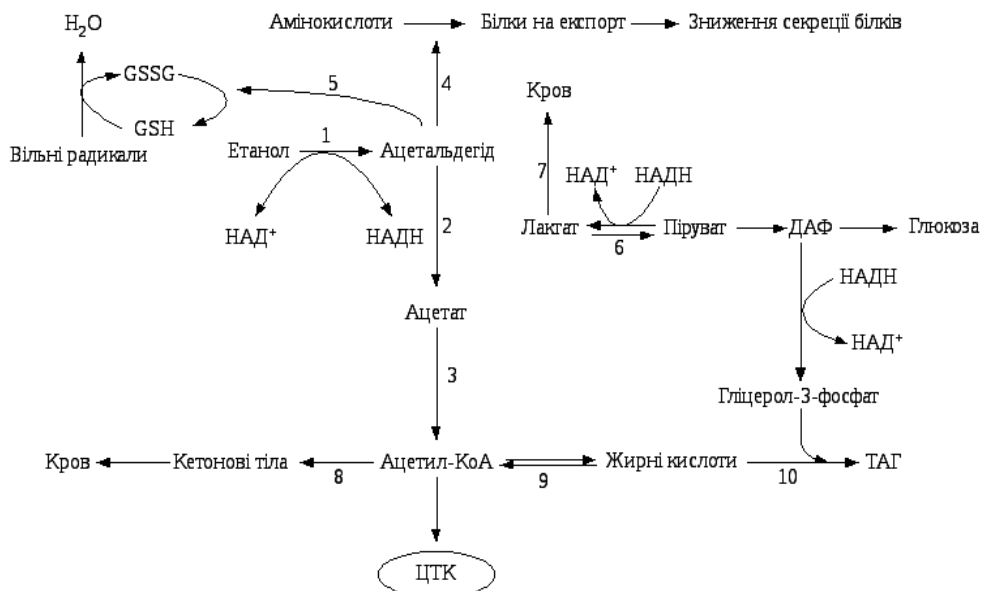


У мітохондріях печінки ацетальдегід перетворюється в ацетатну кислоту під дією НАД-залежної алкогольдегідрогенази:



Невелика частина ацетату поступає в кровоплин і в периферичних тканинах окиснюється до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ , а інша частина за участю АТФ перетворюється в ацетил-КоА, який включається в цикл Кребса або використовується в синтезі жирних кислот, триацилгліцеролів,

Хоч концентрація ацетальдегіду в організмі значно нижча, ніж етанолу, але його токсичний ефект у 10 разів вищий, ніж у спирту. Ацетальдегід у 6 разів активніший від етанолу за наркологічною дією. Етанол і ацетальдегід швидко окиснюються в печінці з утворенням ацетил-КоА. При значних дозах етанолу (1,5 - 2 г/кг і більше) концентрація ацетальдегіду в печінці різко зростає. Це викликає відчуття отруєння, тахікардію, пітливість. Високі концентрації ацетальдегіду інгібують дію алкогольдегідрогенази; це і викликає “синдром похмілля” і відразу до алкоголю. У цей же час ацетальдегід інгібує НАД-дегідрогеназу дихального ланцюга, що, в свою чергу, спричинює гальмування функціонування циклу Кребса.



Ефекти етанолу в печінці: 1, 2, 3 – окиснення етанолу алкогольдегідрогеназою до ацетату та перетворення останнього на ацетил-КоА; 4 – інгібування синтезу білків; 5 – зниження концентрації відновленого глутатіону з подальшим активуванням ПОЛ; 6 – зниження швидкості глюконеогенезу; 7 – виділення лактату в кров з виникненням лактоацидозу; 8 – активування синтезу кетонових тіл (кетоз) внаслідок накопичення ацетил-КоА; 9 – сповільнення окиснення жирних кислот; 10 – посилення синтезу жиру з подальшим розвитком гіпертриацилгліцеролемії та ожиріння

Етанол - висококалорійний продукт. Тривале споживання його в кількостях, що становлять половину від загальної кількості енергії, веде до жирового переродження печінки. Це пов'язано з тим, що внаслідок надмірного утворення ацетил-КоА не включається повністю в цикл Кребса і частина його використовується в печінці для синтезу жирних кислот, триацилгліцеролів, холестеролу, ліпопротеїнів. При хронічному алкоголізмі розвивається фіброз печінки, посилюється синтез колагену, що призводить до цирозу печінки і до смерті.

Форми розладів під впливом етанолу залежать від тяжкості пошкоджень центральної нервової системи. В одних випадках це повна ідіопатія, в інших - олігофренія різного ступеня, порушення зору, слуху, затримка мови, неврози.



## Рекомендована література

### Базова

1. Практикум з біохімії: Навчальний посібник / В.М.Трач, М.Г.Сибіль, І.З.Гложик, І.М.Башкін, - Л., - ЛДУФК. – 2014. – 238 с.
2. Биохимия. Учебник для инст-тов физ. культуры //Под ред. В.В. Меншикова, Н.И.Волкова, - М.: ФиС, 1986.
3. Биохимия. Учебник для инст-тов физ.культуры //Под ред. Н.Н.Яковлева.-2е изд., М.: ФиС, 1974.
4. Березов Т.Т., Коровкин Б.Ф. Биологическая химия. - Москва.: Медицина, 1998. - 704 с.
5. Біологічна і біоорганічна хімія: у 2 кн.: підручник. Кн. 2. Біологічна хімія / Ю. І. Губський, І. В. Ніженковська, М. М. Корда та ін. – Київ, ВСВ «Медицина», 2016. – 544 с.
6. Біологічна хімія. Боєчко Ф.Ф.- К.: Вища школа, 1989.
7. Біохімія людини : підручник / Я. І. Гонський, Т. П. Максимчук ; за ред. Я. І. Гонського. — 3-тє вид., випр. і допов. — Тернопіль : ТДМУ, 2017. — 732 с.

### Допоміжна

1. Біологічна хімія. Лабораторний практикум : практикум / [М. М. Корда, Г. Г. Шершун, М. І. Куліцька та ін.] ; за ред. М. М. Корди. — 3-тє вид., випр. і допов. – Тернопіль : ТДМУ, 2015. — 216 с.
2. Боєчко Ф.Ф., Боєчко Л.О. Основні біохімічні поняття, визначення і терміни. - К.: Вища школа, 1993. - 527 с.
3. Кучеренко М.Є., Бабенюк Ю.Д., Войціцький В.М. Сучасні методи біохімічних досліджень. - К.: Фітосоціоцентр, 2001. - 423 с.
4. Ленинджер А. Основы биохимии. - М.: Мир, 1986. - Т. 1-3.
5. Лисиця А.В. Біохімія. Практикум. Суми: Університетська книга, 2009. – 239 с.

### Інформаційні ресурси

- 1) інтернет;

## 2) бібліотеки:

- бібліотека ЛДУФК(м. Львів, вул. Костюшка);
- Львівська наукова бібліотека імені В.Стефаника НАН України ( м. Львів, вул. В. Стефаника);
- Львівська обласна наукова бібліотека (м. Львів, просп. Шевченка);
  - Наукова бібліотека ЛНУ імені І.Франка (м. Львів, вул. Драгоманова).