

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра медичної біології та хімії

**ФЕРМЕНТИ: БУДОВА, ВЛАСТИВОСТІ,
КЛАСИФІКАЦІЯ ТА НОМЕНКЛАТУРА.
КІНЕТИКА ТА РЕГУЛЯЦІЯ
ФЕРМЕНТАТИВНИХ РЕАКЦІЙ**

Навчально-методичний посібник

Одеса
«Астропринт»
2023

УДК 577.15
Ф434

Автори:

Г. Ф. Степанов — кандидат медичних наук, доцент, завідувач кафедри медичної біології та хімії Одеського національного медичного університету;
А. А. Костіна — старший викладач кафедри медичної біології та хімії Одеського національного медичного університету;
Л. О. Терещенко — кандидат біологічних наук, доцент кафедри медичної біології та хімії Одеського національного медичного університету;
І. О. Селіванська — кандидат технічних наук, старший викладач кафедри медичної біології та хімії Одеського національного медичного університету;
О. В. Сторчило — кандидат біологічних наук, доцент кафедри медичної біології та хімії Одеського національного медичного університету;
А. Г. Васильєва — кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри медичної біології та хімії Одеського національного медичного університету;
А. А. Дімова — асистент кафедри медичної біології та хімії Одеського національного медичного університету

Рецензенти:

Р. С. Вастьянов — з. д. н. і т., доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри загальної та клінічної патологічної фізіології Одеського національного медичного університету;
Л. С. Годлевський — з. д. н. і т., доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри фізіології та біофізики Одеського національного медичного університету

Друкується за рішенням предметної циклової комісії Одеського національного медичного університету (протокол № 2 від 12.09.2023), ухвалено вченою радою міжнародного факультету ОНМедУ (протокол № 1 від 25.09.2023)

Ферменти: будова, властивості, класифікація та номенклатура. Кінетика та регуляція ферментативних реакцій : навч.-метод. посіб. / Г. Ф. Степанов, А. А. Костіна, Л. О. Терещенко та ін. — Одеса : Астропринт, 2023. — 32 с.

Посібник призначений для підготовки до лекційних занять з біологічної та біоорганічної хімії для студентів медичного факультету. Методичні вказівки конкретизують навчальну інформацію і дозволяють перевірити якість її засвоєння в процесі рішення навчальних завдань.

УДК 577.15

© Г. Ф. Степанов, А. А. Костіна,
Л. О. Терещенко та ін., 2023

Актуальність теми: Хімічні процеси в живих організмах характеризуються великою швидкістю, а також взаємозв'язком. Вони проходять впорядковано, взаємообумовлено і послідовно. Організм може жити та розвиватися тільки за умов перебігу в ньому реакцій, пов'язаних з енергозабезпеченням процесів синтезу та розпаду речовин. Всі процеси, які відбуваються в організмі, відрізняються швидкістю та скоординованістю. Травлення, енергозабезпечення, синтез структурних компонентів клітин і тканин, ріст, розмноження, м'язове скорочення, згортання крові та інші процеси пов'язані з роботою ферментів. Тому важливим є розкриття функціонування ферментативних процесів, що відбуваються в мембранах і органелах для інтеграції обміну речовин в індивідуальних клітинах.

Взаємозв'язок і планомірність хімічних процесів, а також швидкість їх здійснення обумовлені ферментами. Ферменти (ензими) - універсальні біологічні каталізатори і біорегулятори метаболізму на всіх рівнях організації живої матерії від найпростіших форм до багатоклітинних організмів. І.П. Павлов назвав ферменти ініціаторами життя. Тому ферменти являють собою центральну ланку біохімії. Шлях до пізнання механізмів фізіологічних, біохімічних, генетичних і імунологічних процесів життєдіяльності, а тим більш до керування цими процесами при допомозі спрямованої регуляції обміну (особливо в хворому організмі), проходить через вивчення ферментів.

Ферментний каталіз є важливою основою сучасної біотехнології. Вивчення, а також добування і використання ферментів як фізіологічно активних речовин, має значення не тільки для медицини, але і для ряду галузей народного господарства.

Необхідність вивчення біохімії ферментів при підготовці лікарів (медична ензимологія) визначається тим, що кожний патологічний процес, пов'язаний з порушеннями обміну речовин, і різноманітними змінами в каталітичній активності ферментів. Напрямок і швидкість реакції, накопичення і руйнування метаболітів визначається дією ферментів. Каталітична активність залежить від цілого ряду факторів (рН середовища, наявності активаторів та інгібіторів, від температури та ін.). Знання властивостей ферментів, причин та наслідків змінення їх активності дозволяє характеризувати стан обміну речовин в організмі. Крім того, визначення активності ферментів в біологічних середовищах

широко використовується в клініці для діагностики хвороб, крім того, багато ферментних препаратів використовується для лікування. Тому медична ензимологія включає ензимопатологію, ензимодіагностику і ензимотерапію.

Ензимопатологія є обов'язковою ланкою загальної патології в патогенезі хвороб.

Ензимодіагностика – визначення активності ферментів, особливо їх ізоферментів, у крові, плазмі та ін. – являється дуже високоефективною та найбільш ранньою ознакою патології.

Ензимо- та коензимотерапія – використання ферментів, та коферментів з лікувальною метою. У медичній практиці використовуються також інгібітори ферментів.

Мета: вивчення загальних закономірностей ферментативного каталізу та використання дослідження активності ферментів у діагностиці різних патологічних станів.

Основні поняття:

1. Що таке ферменти?
2. Шифр ферментів.
3. Активний та алостеричний центри ферментів.
4. Кінетика, енергетика ферментативної реакції.
5. Активатори, інгібітори ферментів.
6. Ізоферменти, поліферментні системи.
7. Ензимопатологія, ензимодіагностика, ензимотерапія.

План і організаційна структура навчально-методичної розробки:

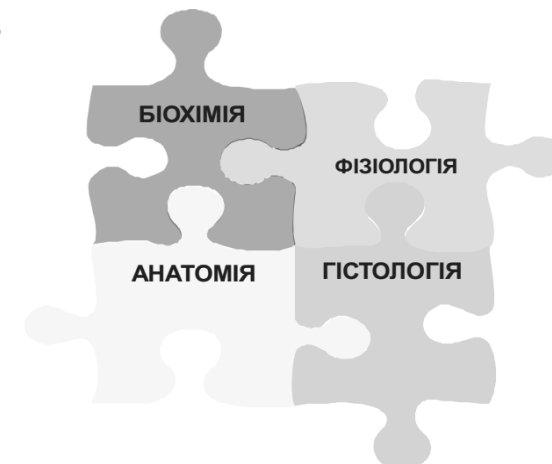
1. Структура ферментів.
2. Номенклатура, класифікація, властивості ферментів.
3. Механізм дії ферментів, центри ферментів.
4. Кінетика, енергетика ферментативної реакції.
5. Активатори, інгібітори ферментів.
6. Ізоферменти, поліферментні системи.
7. Регуляція ферментативної активності.
8. Основи медичної ензимології.

Біохімія – фундаментальна біомедична наука, яка вивчає хімічний склад, обмін речовин та енергії, молекулярні основи функціонування живих організмів



Медична біохімія - одна з провідних дисциплін медичного вузу, що формує світогляд майбутнього медика та його професійні знання

- ♥ обмін речовин та його регуляція у здоровій людини
- ♥ зміни метаболізму в умовах патології
- ♥ біохімічні методи діагностики захворювань та контролю за їх перебігом захворювань
- ♥ створення нових лікарських засобів та методів лікування



Ферменти (ензими) (від лат. *fermentation* — кипіння, бродіння; грецьк. *en zyme* — у дріжджах), - це специфічні білки, що виконують в організмі роль біологічних каталізаторів.

Ензимологія (ферментологія) - наука про ферменти.

Ферменти відрізняються від хімічних каталізаторів за трьома унікальними властивостями:

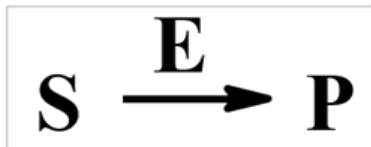
- високою ефективністю дії;
- специфічністю дії;
- здатності до регуляції.

Умовні позначення в ензимології

E - фермент, ензим;

S - субстрат - речовина, на яку діє фермент;

P - продукт реакції - речовина, яка утворюється в результаті ферментативної реакції



Історія ензимології

XVII ст., Ван Гельмонт - термін «фермент»;
1894 р., Фішер - гіпотеза «ключа та замка»;
1913 р. Ментен та Міхаеліс - теорія механізму дії ферментів та кінетика ферментативних реакцій;
1926 р. Самнер - отримав фермент уреазу в кристалічній формі;
80-ті роки 20 ст. Томас Чек - відкрив каталітичні властивості у молекул РНК (рибозими).

Докази білкової природи ферментів:

- денатурація під дією хімічних і фізичних чинників;
- гідролітичне розщеплення до амінокислот;
- синтез в лабораторних умовах з амінокислот;
- амфотерні властивості;
- рухомість під дією електричного поля;
- не проходять (не діалізуються) крізь напівпроникні мембрани;
- осаджуються висолюванням;
- висока молекулярна маса;
- висока специфічність.



Холофермент = апофермент + кофактор;
 Апофермент – білкова частина складного ферменту;
 Кофактор – небілкова частина складного ферменту;
 Органічні небілкові кофактори називаються коферментами (простетичними групами) в залежності від типу зв'язку;
 Кофермент - небілкова частина складного ферменту, слабо зв'язана з апоферментом (водневими та іншими зв'язками);
 Простетична група - небілкова частина складного ферменту, міцно зв'язана з апоферментом ковалентним зв'язком.

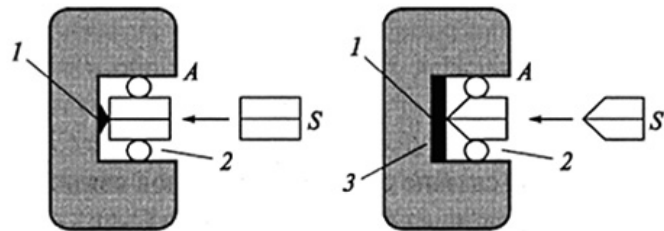
Під час ферментативної реакції вступає у контакт із субстратом не вся молекула ферменту, а лише деяка її частина – активний центр.

Активний центр – ділянка молекули ферменту, де відбувається зв'язування та перетворення субстрату на продукт або продукти ферментативної реакції.

- є комплементарним просторовій будові субстрату;
- містить 10-15 амінокислот;
- знаходиться в «просторовій ніші»;
- у складних ферментів утворений з коферменту та частини апоферменту, що прилягає до нього.

Амінокислотні залишки, що формують активний центр, поділяються на 3 групи:

- *Каталітичні* - безпосередньо контактують із субстратом і беруть участь у його хімічних перетвореннях;
- *Контактні* - забезпечують специфічну спорідненість до субстрату і формування фермент-субстратного комплексу.
- *Допоміжні* – забезпечують стабільність третинної або четвертинної структури ферменту.



Простий фермент Складний фермент

A – активний центр;

S – субстрат;

1 – каталітична ділянка;

2 – контактна ділянка;

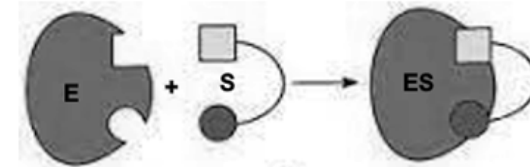
3 – кофактор.

В каталізі беруть участь наступні функціональні групи ферментів:

- COOH-групи дикарбонових амінокислот;
- NH₂ -групи лізину;
- гуанідинова групи аргініну;
- індольні триптофану;
- імідазольного гистидина;
- OH-групи серину і треоніну;
- SH-групи цистеїну і дисульфідні цистину;
- тіоетерні групи метіоніну;
- фенольні групи тирозину;
- гідрофобні ланцюги аліфатичних амінокислот і ароматичне кільце фенілаланіну.

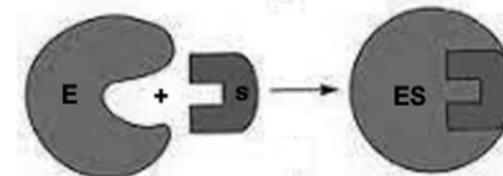
Схему взаємодії субстрату з активним центром ферменту пояснюють моделі Фішера та Кошленда.

1. Модель Фішера, 1890 р. («ключ-замок») – фермент має жорстку структуру, повна відповідність форми молекули субстрата («ключ») до форми активного центру ферменту («замок»)



2. Модель Кошленда, 1959 р. (модель індукованої відповідності, «рука-рукавичка»)

- активний центр ферменту є динамічною структурою і може змінювати свою конформацію під дією молекули субстрату, тобто субстрат індукує відповідні зміни в молекулі ферменту. Ця теорія була підтверджена експериментально



Алостеричні центри — місце впливу на фермент різних регуляторних факторів. Вони являють собою ділянки молекули ферменту, з якими зв'язуються певні речовини, молекули яких не подібні за структурою з субстратом цього ферменту (гормони, медіатори нервової системи, продукти ферментативних реакцій).

Приєднання ефектора до алостеричного центру веде до зміни конфігурації активного центру, викликаючи зниження або підвищення активності ферменту.

До алостеричних належать ферменти, що каталізують або початкові реакції, які розпочинають великі метаболічні процеси, або реакції «вузлові», розташовані на перетині кількох шляхів (гексокіназа, піруватдегідрогеназа, альфа-кетоглутарат-дегідрогеназа та ін.)



Номенклатура ферментів

1. 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 (1961 р. Міжнародний союз біохімії та молекулярної біології) -

побудована за типом хімічної реакції згідно класифікації ферментів

За систематичною номенклатурою назва ферментів складається з двох частин.

Перша частина вказує на назву субстрату, на який діє фермент, друга — на природу хімічної реакції та має закінчення -аза.

Перша частина вказує на назву субстрату, на який діє фермент, друга — на природу хімічної реакції та має закінчення -аза.

Систематична назва = Субстрат 1: Субстрат 2 - тип хім.реакції за класифікацією ферментів + «-аза»

Наприклад:

L-Лактат: НАД+ - оксидоредуктаза

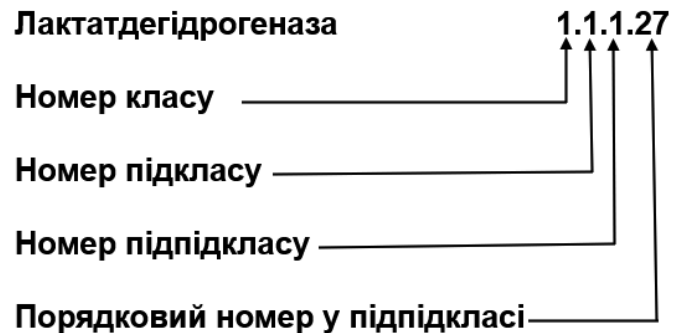
(лактатдегідрогеназа)

L-Лактат: НАД+ - оксидоредуктаза (лактатдегідрогеназа)

Класифікація ферментів



Шифр ферменту - 4 кодових числа



КФ 1. Оксидоредуктази: переніс H^+ , e^- , H

- Дегідрогенази, оксидази, оксигенази (гідроксилази), цитохроми

КФ 2. Трансферази: переніс хімічних груп

- метил-, сульфо-, аміно-, фосфо-, ацил-, глікозил- трансферази
- кінази (переніс фосфатного залишку з АТФ на субстрат)

КФ 3. Гідролази: розщеплення субстрату за участі H_2O (р-ції гідролізу)

- пептидази, естерази, глікозидази, фосфатази

КФ 4. Ліази: розщеплення зв'язків між атомами C, O, N, S без участі H_2O

- декарбоксилази, альдолази, дегідратази

КФ 5. Ізомерази: реакції ізомеризації

- мутази, цис-транс-ізомерази, рацемази, епімерази

КФ 6. Лігази (синтетези): з'єднання двох молекул з використанням енергії

- Синтетези: джерело енергії – АТФ
- Синтази: джерело енергії інший макроерг

КФ 7. Транслокази: рух іонів/молекул через мембрани або їх розподіл всередині мембрани

Властивості ферментів як біокаталізаторів

1. **Специфічність** - висока вибірковість дії

а) абсолютна: один фермент – один субстрат (*уреаза, аргіназа*);

б) групова: перетворення групи субстратів, що мають один тип будови і спільний тип зв'язку в будові (*амілаза*);

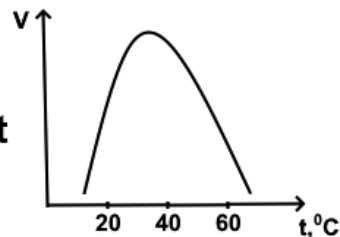
в) відносна: один фермент – дія на субстрати, що мають певний тип хімічного зв'язку (*пепсин, трипсин, ліпаза*);

г) стереохімічна: дія на певний стереоізомер (*ЛДГ -на L-лактат; оксидази D- та L-амінокислот*)

2. **Термолабільність**

t оптимум 20-40°C

денатурація при високих t



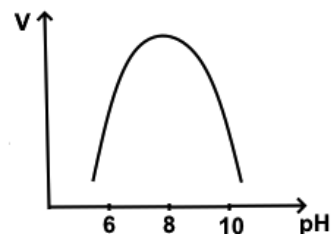
3. **Чутливість до pH**

pH оптимум 5,0-9,0

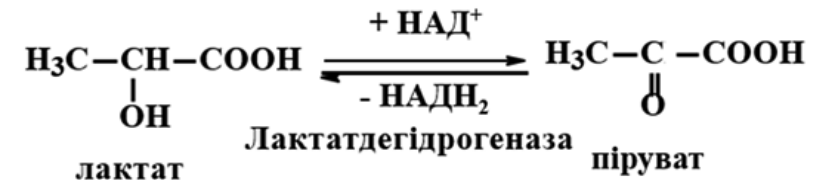
виключення:

аргіназа pH_{опт} 10-11

пепсин pH_{опт} 1-2



4) Прискорюють як пряму, так і зворотну реакцію



5) Регульованість дії

6) Висока ефективність, дія в дуже малих концентраціях

Як всі каталізатори ферменти:

- каталізують лише термодинамічно можливі реакції
- не змінюють напрямку реакції
- не входять до складу продуктів реакції

Активність ферменту – відповідає швидкості реакції, яку каталізує фермент

Принципи визначення активності:

- за швидкістю зникнення S
- за швидкістю накопичення P

Одиниці активності ферментів:

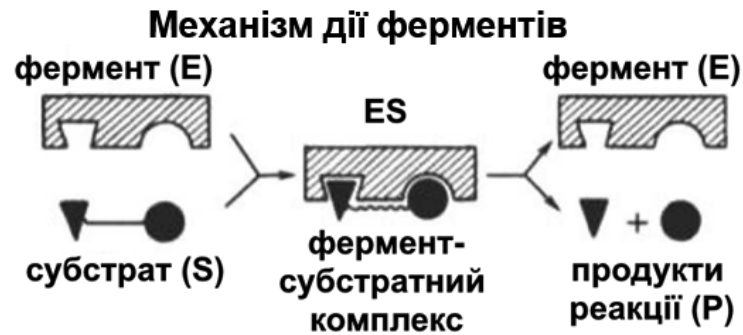
Міжнародна: Unit (Од.). 1 U = 1 мкмоль/хв

SI: Катал. 1 кат = 1 моль/с

Питома активність: U / мг білка

В медичній ензимології: U/л (мкмоль/хв·л)

(Unit на 1 л плазми крові, сечі)



Етапи

1. Утворення фермент-субстратного комплексу (ES).
2. Перетворення субстрата на продукт: розрив старих зв'язків та утворення нових зв'язків.
3. Вивільнення продуктів реакції.

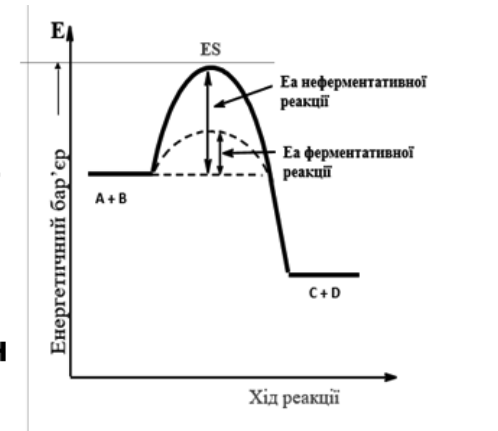
Кінетика ферментативних реакцій

Швидкість хімічних реакцій залежить:

- а) від концентрації реагуючих речовин;
- б) від ступеня хімічної спорідненості реагуючих речовин;
- в) від кількості активних молекул реагуючих речовин.

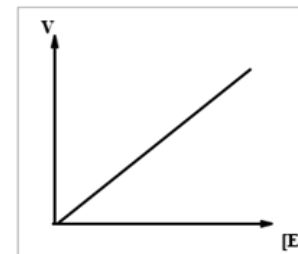
Основи кінетики ферментативних реакцій були закладені в роботах Міхаеліса і Ментен (1913). Швидкість ферментативної реакції є мірою каталітичної активності ферменту.

Ферменти прискорюють реакції за рахунок зниження енергії активації, яка необхідна для переходу молекул речовин у активний стан.



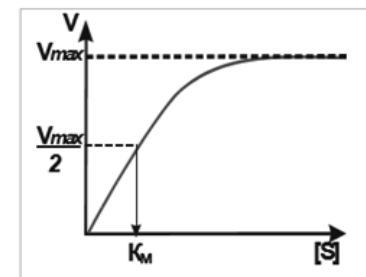
Залежність швидкості ферментативної реакції

від концентрації ферменту



$$V = k \cdot [E]$$

від концентрації субстрату



$$V = \frac{V_{max}}{1 + K_m / [S]}$$

Константа Міхаеліса (Km) – це така концентрація субстрату, при якій швидкість ферментативної реакції дорівнює половині від максимальної

Активация ферментів

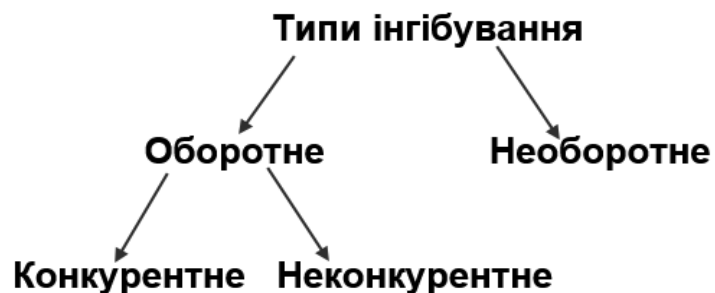
1. речовини, що впливають на активний центр (кофактори і субстрати).

2. шляхом модифікації, що не зачіпає активний центр:

- а) активация неактивного попередника – профермента, або зимогена;
- б) хімічна модифікація (фосфорилування й дефосфорилування апофермента);
- в) регуляція за принципом зворотного зв'язку (ретроінгібування через алостеричний центр);
- г) конкуренція за субстрат або кофермент;
- д) шляхом дисоціації неактивного комплексу білок-активний фермент.

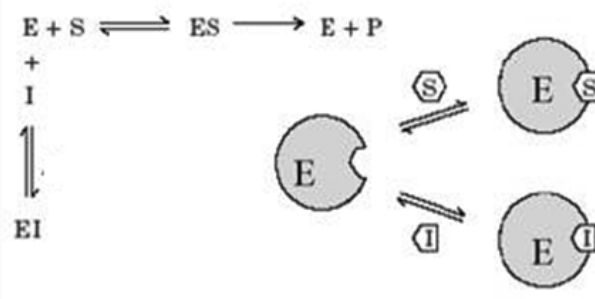
Інгібування ферментів

- пригнічення активності ферментів шляхом зв'язування з певними речовинами (інгібіторами).



Конкурентні інгібітори:

- структурно схожі на субстрат
- взаємодіють з контактною ділянкою активного центру
- діють за високих концентрацій ($I > S$)
- збільшують K_m , не впливають на V_{max}
- інгібування завжди оборотне

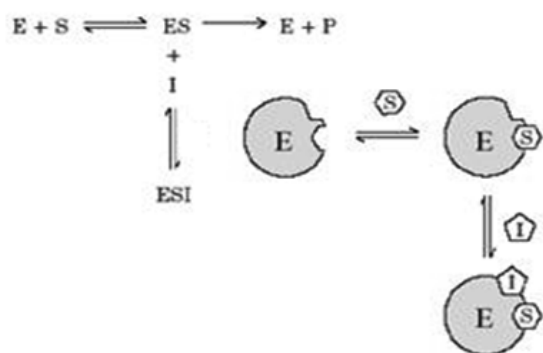


Приклади конкурентних інгібіторів:

- малінова кислота – інгібітор сукцинат-дегідрогенази;
- сульфаніламід - аналоги параамінобензойної кислоти (антимікробні засоби)
- метотрексат – аналог фолієвої кислоти, блокує синтез ДНК;
- дикумарини – аналоги вітаміну К, блокують синтез протромбіну (антизгортальні засоби);
- прозерин - інгібітор ацетилхолінестерази

Неконкурентні інгібітори:

- структурно НЕ схожі на субстрат
- взаємодіють не з активним центром, а з іншою ділянкою (алостеричним центром);
- діють в малих концентраціях;
- не впливають на K_m , зменшує V_{max}
- іноді при тривалій дії неконкурентного інгібітору та утворенні міцних зв'язків із ферментом таке інгібування стає незворотним

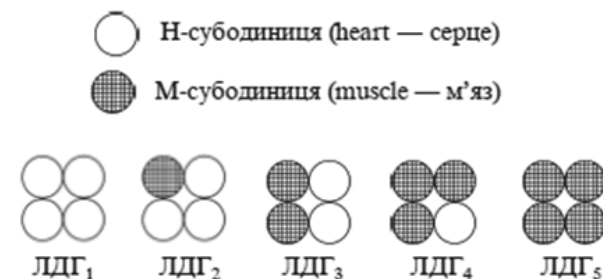


Приклади неконкурентних інгібіторів:

- ФОС (отрути) – інгібітори ацетилхолін-естерази
- тетурам – інгібітор ацетальдегід-дегідрогенази
- аспірин – інгібітор ЦОГ

Ізоферменти – це множинні форми ферменту, які каталізують одну й ту саму реакцію, але відрізняються за будовою, фізико-хімічними властивостями, тканинною локалізацією.

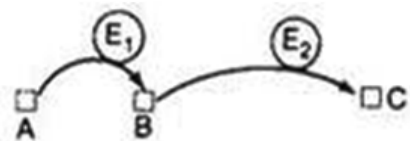
Лактатдегідрогеназа (фермент, що каталізує оборотне перетворення пірувату на лактат) складається з чотирьох субодиниць двох різних типів - Н і М.



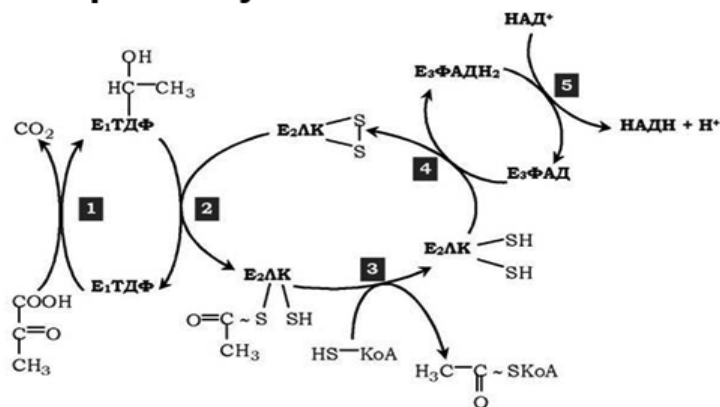
Ізоферментний спектр ЛДГ склетних м'язів і міокарду суттєво відрізняється: у міокарді превалюють ЛДГ₁ і ЛДГ₂, що функціонують в аеробних умовах, у склетних м'язах ЛДГ₅ і ЛДГ₄, що функціонують в анаеробних умовах. При ураженнях різних органів у кров виходять ізоферменти ЛДГ, які превалюють в ураженій тканині, внаслідок порушення проникності плазматичних мембран.

Поліферментні комплекси - це комплекси, до складу яких входять ферменти, що послідовно каталізують різні стадії будь-якого метаболічного процесу.

Продукт першої реакції є субстратом для другого ферменту і так далі, що призводить до виграшу у відстані та часі. Часто такі ферментні ансамблі структурно пов'язані з будь-якою органелою клітини або мембраною.



Приклади поліферментних комплексів:
піруватдегідрогеназний комплекс, що каталізує перетворення пірувату на ацетил-КоА в аеробних умовах



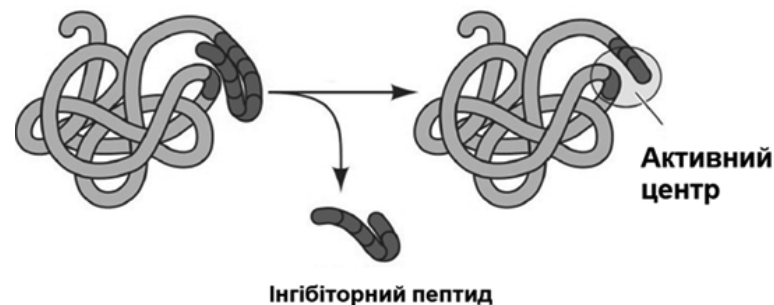
Регуляція швидкості ферментативних реакцій

I Повільна: здійснюється на рівні геному; зміна кількості молекул ферменту – (години, дні);

II Швидка - зміна активності існуючих молекул ферменту - швидка (секунди, хвилини):

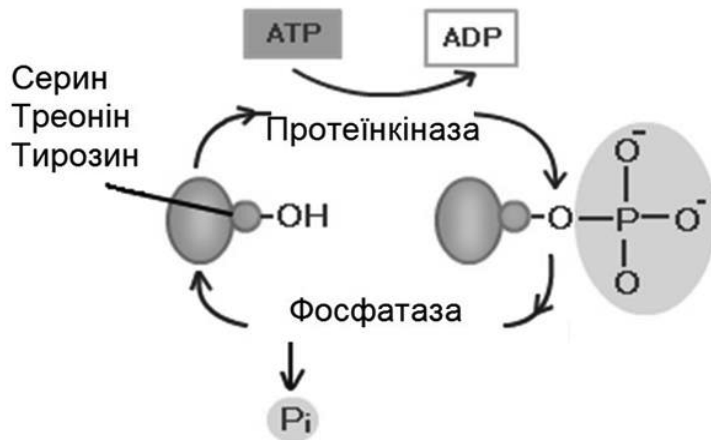
- Аlostерична регуляція активності ферментів;
- Регуляція активності ферменту за допомогою особливих регуляторних білків;
- Регуляція активності ферментів за допомогою ковалентної модифікації;
- Активація ферменту за допомогою часткового протеолізу.

Обмежений протеоліз: пепсиноген → пепсин

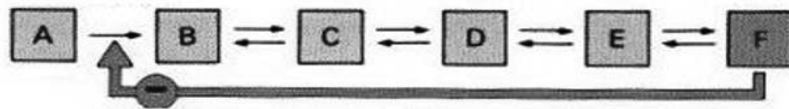


Фосфорилування /дефосфорилування

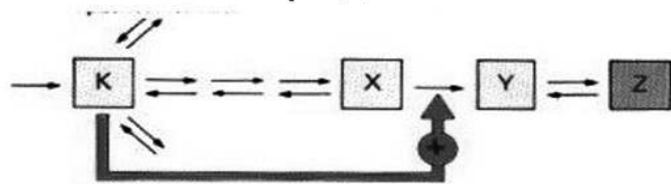
(глікогенфосфорилаза / глікогенсинтетаза)



(-) зворотний зв'язок - інгібування кінцевим продуктом



(+) зворотний зв'язок - активація попередником



Внутрішньоклітинна локалізація ферментів

- **ядро:** ферменти, що каталізують обмін нуклеїнових кислот (ДНК-полімераза, РНК-полімераза, хеліказа, праймаза, ДНК-лігаза);
- **мітохондрії:** ферменти ЦТК, катаболізму амінокислот, бета-окиснення жирних кислот, окисного декарбоксілювання пірувату, тканинного дихання;
- **лізосоми:** ферменти, що каталізують гідролітичне розщеплення різних органічних речовин: протеїнази (катепсини), естерази, нуклеази, кислі фосфатази;
- **гіалоплазма (цитоплазма):** ферменти пентозофосфатного шляху, анаеробного гліколізу, синтезу жирних кислот.

Медична ензимологія – розділ біохімії, що вивчає роль ферментів у:

- розвитку захворювань – **ензимопатологія**;
- їх діагностиці – **ензимодіагностика**;
- лікуванні – **ензимотерапія**.

Ензимопатологія (ензимопатії) – це захворювання, зумовлені відсутністю або зниженням активності ферментів.

- Первинні ензимопатії: фенілкетонурія, альбінізм, глікогенози, сфінголіпідози, мукополісахаридози;
- Вторинні ензимопатії є наслідком тих чи інших патологічних процесів, що супроводжуються порушенням активності ферментів - дефіцит кофакторів, хронічні хвороби.

Ензимодіагностика

Ферменти	Приклади застосування в діагностиці
ЛДГ1, ЛДГ2	Інфаркт міокарда
АСТ	Інфаркт міокарда
АЛТ	Захворювання печінки (гепатит)
КФК-ММ	Прогресуюча м'язова дистрофія
КФК-МВ	Інфаркт міокарда
Кисла фосфатаза	Рак передміхурової залози
Альфа-амілаза	Захворювання підшлункової залози (панкреатит)

Ензимотерапія

Ферменти	Приклади застосування в лікуванні захворювань
Пепсин	Порушення травних процесів у шлунку
Трипсин, хімотрипсин	Гнійні рани, емпієма, гемоторакс
Стрептокіназа, урокіназа	Фібринолітичні препарати (гострі тромбози)
Гіалуронідаза	Розсмоктування рубців
Нуклеази (ДНКаза)	Вірусний кон'юнктивіт, риніт, гнійний бронхіт
Уреаза	Виведення сечовини з організму в апаратах «штучна нирка»
Аспарагіназа	Антилейкемічна дія

Лікарські препарати з антиферментною активністю

- Контрикал – інгібітор протеолітичних ферментів (застосовується при гострому панкреатиті);
- Прозерин –інгібітор холінестерази (при міастенії);
- Діакарб – інгібітор карбоангідрази (діуретичний засіб)

Питання для самоконтролю:

Введення в біохімію. Біохімічні компоненти клітин

1. Біологічна хімія (біохімія) як наука. Місце біохімії серед інших медико-біологічних дисциплін.
2. Об'єкти вивчення та завдання біохімії. Провідна роль біохімії у встановленні молекулярних механізмів патогенезу хвороб людини.
3. Зв'язок біохімії з іншими біомедичними науками. Медична біохімія. Клінічна біохімія. Біохімічна лабораторна діагностика.
4. Історія біохімії; розвиток біохімічних досліджень в Україні.
5. Біохімічні компоненти клітини, їх біохімічні функції. Класи біомолекул. Ієрархія біомолекул, їх походження.

Ферменти та коферменти. Регуляція метаболізму.

1. Ферменти: визначення; властивості ферментів як біологічних каталізаторів.
2. Класифікація та номенклатура ферментів, характеристика окремих класів ферментів.
3. Будова та механізми дії ферментів. Активний та алостеричний (регуляторний) центри.
4. Кофактори та коферменти. Будова та властивості коферментів, вітаміни як попередники в біосинтезі коферментів.
5. Коферменти: типи реакцій, які каталізують окремі класи коферментів.
6. Ізоферменти, особливості будови та функціонування, значення в діагностиці захворювань.
7. Механізми дії та кінетика ферментативних реакцій: залежність швидкості реакції від концентрації субстрату, рН та температури.
8. Активатори та інгібітори ферментів: приклади та механізми дії.
9. Типи інгібування ферментів: оборотне (конкурентне, неконкурентне) та необоротне інгібування.
10. Регуляція ферментативних процесів. Шляхи та механізми регуляції: алостеричні ферменти; ковалентна модифікація ферментів.
11. Циклічні нуклеотиди (цАМФ, цГМФ) як регулятори ферментативних реакцій та біологічних функцій клітини.

12. Ензимопатії – уроджені (спадкові) вади метаболізму вуглеводів, амінокислот, порфіринів, пуринів.
13. Ензимодіагностика патологічних процесів та захворювань.
14. Ензимотерапія – застосування ферментів, їх активаторів та інгібіторів в медицині.
15. Принципи та методи виявлення ферментів у біоб'єктах. Одиниці виміру активності та кількості ферментів.

Список використаних джерел:

1. Біологічна хімія: підручник / Губський Ю. І., Ніженковська І. В., Корда М. М. [та ін.] ; за ред. І. В. Ніженковської. – Вінниця: Нова Книга, 2021. 648 с.
2. Біологічна і біоорганічна хімія: У 2 кн. Кн. 1: Біоорганічна хімія: Підручник для мед. ВНЗ IV р.а. 2-ге вид., випр. Затверджено МОН / За ред. Б.С. Зіменковського, І.В. Ніженковської. К., 2017. 272 с.
3. Гонський Я.І., Максимчук Т.П., Біохімія людини. Підручник. Тернопіль: Укрмедкнига, 2020. 736 с.

Додаткова:

1. Біологічна хімія: підручник / О.Я. Склярів, Н.В. Фартушок, Т.І. Бондарчук. Тернопіль: ТДМУ, 2020. 706 с.
2. Степанов Г.Ф., Мардашко О.О., Костіна А.А. Епігенетичні зміни ферментних білків у тканинах тварин після іонізуючого опромінення. *Досягнення біології та медицини*. 2019. № 2(34). С.26-30.

Посібник призначений для підготовки до лекційних занять з біологічної та біоорганічної хімії для студентів медичного факультету. Методичні вказівки конкретизують навчальну інформацію і дозволяють перевірити якість її засвоєння.

Навчальне видання

СТЕПАНОВ Геннадій Федорович
КОСТИНА Аліна Анатоліївна
ТЕРЕЩЕНКО Людмила Олександрівна
СЕЛІВАНСЬКА Ірина Олександрівна
СТОРЧИЛО Ольга В'ячеславівна
ВАСИЛЬЄВА Антоніна Георгіївна
ДІМОВА Алла Анатоліївна

**ФЕРМЕНТИ: БУДОВА, ВЛАСТИВОСТІ,
КЛАСИФІКАЦІЯ ТА НОМЕНКЛАТУРА.
КІНЕТИКА ТА РЕГУЛЯЦІЯ
ФЕРМЕНТАТИВНИХ РЕАКЦІЙ**

Навчально-методичний посібник

Завідувачка редакції *Т. М. Забанова*

Надруковано в авторській редакції
з готового оригінал-макета

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 1,86.
Тираж 300 прим. Зам. № 900.

Видавництво і друкарня «Астропринт»
65091, м. Одеса, вул. Разумовська, 21
Тел.: (048) 7-855-855; (0482) 37-14-25, 37-07-17
e-mail: astro_print@ukr.net; www.astroprint.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1373 від 28.05.2003 р.