

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

В. В. МАЩЕНКО, Н. В. КУЛАЛАЄВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для підготовки до лабораторних робіт
з курсу "Біохімія спорту"
(експериментальна частина)

Рекомендовано Методичною радою НУК

Електронне видання комбінованого
використання на DVD-ROM



МИКОЛАЇВ • НУК • 2011

УДК 577.1(076)
М 12

Укладачі: В. В. Машенко, канд. хім. наук, доцент;
Н. В. Кулалаєва, канд. хім. наук, доцент

Рецензент О. І. Цебржинський, доктор біологічних наук, професор
Кафедра хімії

Машенко В. В.

М 12 Методичні вказівки для підготовки до лабораторних робіт з курсу
"Біохімія спорту" (експериментальна частина) / В. В. Машенко, Н. В. Кула-
лаєва. – Миколаїв : Видавництво НУК, 2011. – 37 с.

Методичні вказівки містять матеріали для організації лабораторного
практикуму та самостійної роботи студентів спеціальності 6.010202 "Спорт"
з курсу "Біохімія спорту".

До кожної теми, передбаченої навчальною програмою, подані конт-
рольні запитання та задачі.

Призначено для студентів вузів, а також для вчителів та учнів шкіл
з поглибленим вивченням природничих наук.

УДК 577.1(076)

Навчальне видання

МАЩЕНКО Валентина Василівна
КУЛАЛАЄВА Наталія Валеріївна

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
для підготовки до лабораторних робіт
з курсу "Біохімія спорту"
(експериментальна частина)

Комп'ютерне верстання *В.Г. Мазанко*
Коректор *М.О. Паненко*

© Машенко В. В., Кулалаєва Н. В., 2011
© Видавництво НУК, 2011

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 2,2. Обсяг даних 1100 кб.

Тираж 14. Вид. № 12. Зам. № 406.

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54025, м. Миколаїв, просп. Героїв Сталінграда, 9

E-mail : publishing@nuos.edu.ua

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ОБМІН ВУГЛЕВОДІВ

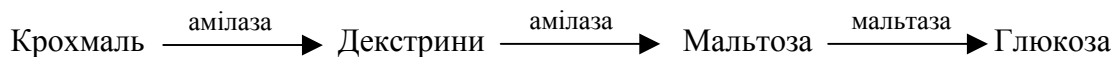
Мета роботи: дослідження гідролітичного розщеплення вуглеводів; порівняння дії неорганічних каталізаторів і ферментів в процесі гідролізу вуглеводів.

Теоретична частина

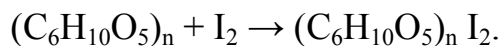
Вуглеводи є основним джерелом енергії, що надходять в організм людини, головним чином, з продуктами рослинного походження: мукою, крупами, картоплею та ін. Людина повинна одержувати на добу не менш 500 г вуглеводів. До найбільш поширених представників вуглеводів належать полісахариди – крохмаль, клітковина та глікоген, дисахариди – мальтоза, сахароза, лактоза, моносахариди – глюкоза, фруктоза, галактоза.

Гідролітичне розщеплення (гідроліз) вуглеводів – крохмалю та глікогену починається в ротовій порожнині під впливом ферментів слини – амілази та мальтази. Оптимум дії цих ферментів лежить у нейтральному та слабко-лужному середовищі. Тому в шлунку розщеплення практично припиняється, оскільки шлунковий сік має кислу реакцію (рН 1,5-2,5).

У дванадцятипалій кишці й у порожнині тонкої кишки під дією ферментів підшлункової залози і кишкового соку відбувається завершальне розщеплення вуглеводів до моносахаридів. Сік підшлункової залози має лужну реакцію та нейтралізує хлоридну кислоту, яка попадає зі шлунка, а натрій хлорид, що утворюється при цьому, активізує дію амілази. Гідроліз крохмалю під дією ферментів проходить через стадію утворення декстринів – продуктів його неглибокого розщеплення та здійснюється за наступною схемою:



У разі взаємодії крохмалю з йодом утворюються комплексні адсорбційні сполуки синього кольору за схемою:



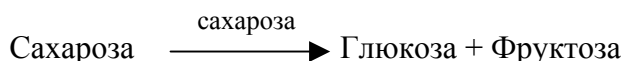
Відсутність кольору при цьому вказує на утворення мальтози або глюкози.

Крохмаль може розщеплюватися до глюкози також при гідролізі з кип'ятінням у присутності концентрованих мінеральних кислот – сульфатної або хлоридної, які в цьому випадку є неорганічними каталізаторами, за наступною схемою:



Глюкозу, що утворюється у цьому процесі, можна виявити за допомогою реакції Тромера [8].

Розщеплення дисахаридів – мальтози, сахарози та лактози відбувається в тонкому кишечнику за участю ферментів мальтази, сахарази та лактази, які виділяються слизовою оболонкою кишечника. Фермент сахараза каталізує гідроліз сахарози до глюкози та фруктози за наступною схемою:



Моносахариди, які при цьому утворюються, також визначають за допомогою реакції Тромера. Далі моносахариди всмоктуються стінками кишок та через капіляри кишкових ворсинок і надходять у кров'яне русло. З током крові вони потрапляють у печінку й інші органи та тканини, де з глюкози синтезується глікоген, утворюються жироподібні речовини, а також відбувається її окиснення.

Практична частина

Дослід 1. Ферментативний гідроліз крохмалю

У дві пробірки внести 5 мл крохмального клейстеру. В одну з них додати 0,5 мл розчину слини, що містить амілазу, добре перемішати та залишити на 15 хвилин.

Потім у дві пробірки додати по 5 крапель розчину Люголю (0,1%-й розчин I_2 в 0,2%-вому розчині KI). У пробірці з амілазою слини розчин поступово знебарвлюється. У пробірці, в якій не було амілази, розчин кольору не змінює, тобто залишається синьо-фіолетовим. Пояснити це явище. Навести схему ферментативного гідролізу крохмалю.

Дослід 2. Кислотний гідроліз крохмалю

У дві пробірки вмістити по 5 мл 1%-го розчину крохмалю. У першу додати 2...3 краплі розчину концентрованої хлоридної кислоти та кип'ятити її на водяній бані 15 хвилин. Друга пробірка – контрольна.

Потім в обидві пробірки налити по 2 мл 15%-го розчину NaOH, та по 5 крапель 1% -го розчину $CuSO_4$ і нагріти. У пробірці, де здійснювався

гідроліз крохмалю в присутності HCl при нагріванні, спостерігається утворення червоного осаду Cu_2O (тобто реакція Тромера позитивна), а в контрольній пробірці такий осад не спостерігається. Зробити висновок про продукти реакції. Навести схему кислотного гідролізу крохмалю та написати рівняння реакції Тромера.

Дослід 3. Ферментативний гідроліз сахарози

У дві пробірки налити по 1 мл ферменту сахарози. Вміст однієї з них (контрольний дослід) прокип'ятити 3 хвилини для руйнування сахарози. Після того, як вона охолоне, в обидві пробірки налити по 3 мл розчину сахарози, перемішати та поставити в термостат (на водяну баню) при температурі 38°C . Через 15 хвилин з розчинами в пробірках здійснити реакцію Тромера. Зробити висновок про речовини, які утворюються.

Контрольні запитання та задачі

1. Під дією яких ферментів ШКТ відбувається розщеплення полісахаридів та дисахаридів?
2. Навести рівняння гідролізу крохмалю, сахарози та мальтози.
3. Чому в шлунку припиняється розщеплення крохмалю амілазою слини?
4. Який процес називається глікогенолізом і в чому його відмінність від процесу гліколізу?
5. Навести кінцеві продукти гідролізу лактози.
6. Чому процес розпаду глюкози до молочної кислоти називається анаеробним процесом?
7. Молекула мальтози складається із залишків молекул:
 - а) глюкози та фруктози;
 - б) глюкози та рибози;
 - в) двох молекул фруктози;
 - г) двох молекул глюкози.
8. Назвати ферменти, які розщеплюють вуглеводи в ШКТ:
 - а) мальтаза;
 - б) крохмаль;
 - в) амілаза;
 - г) амінокислота.
9. Який об'єм карбону (IV) оксиду і яка маса етанолу утвориться внаслідок спиртового бродіння глюкози кількістю речовини 7 моль.
10. Обчислити масову частку сахарози в розчині, виготовленому з 5 г сахарози і 145 мл води ($\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ г/см}^3$).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ОБМІН ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТІВ РОЗЩЕПЛЕННЯ ЛІПІДІВ

Мета роботи: поглибити знання про участь ліпідів в процесах метаболізму та з'ясувати механізм їх ферментативного розщеплення.

Теоретична частина

Завдяки структурній різноманітності ліпідів існує багато шляхів їх розщеплення та синтезу. Розщеплення жирів відбувається за допомогою ферментів – ліпаз. У шлунку перетравлюється лише 3-5 % жирів, оскільки

реакція середовища кисла (рН 1,5...2,5), у той час як оптимум дії ліпази знаходиться при рН 7,8...8,1. Основним місцем перетравлювання жирів є дванадцятипала кишка і відділи тонкої кишки. Оскільки, ферменти, під дією яких відбувається розщеплення нерозчинних у воді жирів, водорозчинні, необхідною умовою для їх гідролітичного розщеплення на складові частини є диспергування ліпідів з утворенням тонкої емульсії (емульгування). Диспергування й емульгування жиру відбувається в результаті дії декількох чинників: жовчних кислот, вільних вищих жирних кислот, моно- і дигліцеридів, білків. Гідролітичне розщеплення жирів і жироподібних речовин, відбувається в кишечнику під впливом ліпази підшлункової залози, яка виділяється в малоактивній формі й активується жовчю. При чому жовч не лише активує ліпазу, завдяки лужному характеру. Вона також сприяє емульгуванню жирів та підвищує проникність стінки кишок, утворюючи комплексні водорозчинні сполуки з вищими жирними кислотами, для їх подальшого транспортування. До складу жовчі входять жовчні кислоти, які утворюються в печінці та виділяються з жовчю у вільному стані та мають властивості поверхнево-активних речовин.

При збовтуванні жиру з розчином жовчі, білка, мила або соди утворюється стійка емульсія. Утворення емульсії обумовлене тим, що в поверхневий водний шар, що оточує жирові краплі, спрямовуються поверхнево-активні частинки жовчних кислот, білка, мила, які охоплюють крапельки жиру та перешкоджають їхньому злиттю. Емульгування жиру содою обумовлено утворенням мила в результаті взаємодії натрій карбонату із присутніми в жирі вільними жирними кислотами.

Якщо до розчину жовчі або жовчних кислот додати розчин сахарози та суміш підшарувати концентрованою сульфатною кислотою, то на межі двох рідин з'являється червоне кільце. Реакція обумовлена утворенням забарвлених продуктів конденсації жовчних кислот з фурфуролом, який утворюється із сахарози (а саме із фруктози) при дії концентрованої сульфатної кислоти.

Під дією ліпази нейтральний жир гідролітично розщеплюється на гліцерин і жирні кислоти. Лецитин під дією фосфоліпаз панкреатичного та кишкового соку гідролітично розпадається на гліцерин, жирні кислоти, фосфорну кислоту та холін. Холестериди під впливом ферменту холестеролестерази розпадаються на холестерин і жирну кислоту.

Якщо до молока додати витяжку з панкреатичної залози, яка містить фермент ліпазу, у лужному середовищі (при додаванні соди) у присутності фенолфталеїну до його слабо рожевого забарвлення, то через певний час рожевий колір рідини зникне. Це обумовлене утворенням вільних жирних кислот у результаті розщеплення жиру під дією ліпази. Жирні кислоти нейтралізують доданий луг і викликають знебарвлення фенолфталеїну.

Всмоктування продуктів розщеплення жиру та жироподібних речовин відбувається в кишечнику. Гліцерин добре розчинний у воді та легко всмокту-

ється стінками кишок. Жирні кислоти, навпаки, нерозчинні у воді та всмоктуються лише у вигляді розчинних холеїнових кислот, які являють собою комплексні сполуки жирних кислот з жовчними кислотами. У клітинах слизової оболонки кишечника холеїнові кислоти знову розпадаються на жовчні та жирні кислоти. Останні, з'єднуються із гліцерином і утворюють жир, специфічний для даного організму. Із клітин кишечника жир, який утворився, надходить переважно в лімфатичну систему, частина ж всмоктується безпосередньо в кров (близько 30 %). Жирова емульсія попадає через грудну лімфатичну протоку в русло крові та розноситься по всьому організмі. Далі гліцерин і жирні кислоти окиснюються в тканинах до CO_2 і H_2O , а хімічна енергія, яка при цьому вивільнюється, використовується для виконання різноманітних фізіологічних функцій та підтримки температури тіла.

Практична частина

Дослід 1. Емульгування жиру

У п'ять пробірок внести по 20 крапель: у першу – дистильованої води, у другу – жовчі, розведеної вдвічі, у третю – 1%-го розчину яєчного білка, у четверту – 1%-го розчину мила, у п'яту – 1%-го розчину натрій карбонату. У кожену пробірку додати по 2 краплі рослинного масла та ретельно перемішати. У всіх пробірках крім першої, утворюється стійка емульсія. Пояснити це явище. Результат роботи зафіксувати в табл. 1. Ступінь емульгування позначити знаками «+» і «-». Зробити висновок.

Таблиця 1. Емульгування жирів

	Вода	Жовч	Білок	Мило	Сода
Рослинне масло					

Дослід 2. Реакція на жовчні кислоти (фурфуролова реакція)

В пробірку прилити 10 крапель розведеного (1:2) розчину жовчі, додати 1 краплю 5%-го розчину сахарози й обережно, по стінці пробірки, нахиленої під кутом 45° , долити рівний об'єм концентрованої сульфатної кислоти. На межі двох шарів рідини з'являється червоне кільце. Пояснити спостережене явище. Зробити висновок.

Дослід 3. Ферментативне розщеплення жиру

У дві пробірки налити по 20 крапель кип'яченого молока, розведеного 1:1. В одну пробірку додати 2...3 краплі витяжки з панкреатичної залози, в іншу – 2...3 краплі тієї ж витяжки, але попередньо прокип'яченої й охолодженої. У кожену пробірку додати по 1 краплі фенолфталеїну і декілька крапель 10%-го розчину натрій карбонату до появи слабо рожевого забарвлення однакової інтенсивності. Обидві пробірки помістити у водяну баню на 10...15 хвилин при температурі $38-40^\circ\text{C}$. Рідина в пробі з активною ліпазою знебарвлюється, у пробі із прокип'яченою витяжкою залишається без зміни. Результати роботи зафіксувати в табл. 2. Зробити висновок про дію ферменту.

Таблиця 2. Дія ліпази на жири

Фермент (вихідний матеріал)	Субстрат (найменування продукту)	Забарвлення рідини з фенолфталеїном в присутності Na_2CO_3	
		вихідна	кінцева

Контрольні запитання та задачі

1. Під дією яких ферментів ШКТ відбувається розщеплення жирів та ліпідів?
2. Напишіть реакцію гідролізу триолеїну.
3. Яка роль жовчних кислот в перетравлюванні ліпідів?
4. Яким шляхом транспортується жир від стінки кишечника до тканин?
5. Які тканини є жировими депо?
6. Навести схему гідролізу тристеарату.
7. Розщеплення ліпідів відбувається в:
 - а) ротовій порожнині;
 - б) шлунку;
 - в) тонкому кишечнику;
 - г) товстому кишечнику?
8. Жири – це :
 - а) дипептиди;
 - б) крохмаль;
 - в) складні ефіри ВЖК і гліцерину;
 - г) декстрини.
9. У 100 г тріски в середньому міститься 11,6 г білків і 0,3 г жирів. Розрахувати енергію, що виділиться при засвоєнні порції тріски масою 288 г. Калорійність білків 17,1 кДж/г, жирів – 38,8 кДж/г.
10. Яку масу трипальмітину необхідно взяти для добування 0,92 кг гліцерину?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 ФЕРМЕНТАТИВНИЙ ГІДРОЛІЗ І ОБМІН БІЛКІВ

Мета роботи: розширити знання про метаболізм білків та з'ясувати роль ферментів у білковому обміні.

Теоретична частина

Серед обмінних процесів організму особливу увагу заслуговує обмін білків, оскільки всі структурні елементи клітин, тканин і органів людини побудовані з білків. Наявність специфічних фізико-хімічних і біологічних властивостей дозволяє білкам приймати участь у формуванні геному клітини. Саме завдяки особливій видової специфічності білків, вони не можуть бути використані організмом у тому вигляді, в якому вони надходять з їжею.

Весь процес обміну білків включає перетравлювання, всмоктування продуктів розщеплення, внутрішньо-клітинний обмін та синтез специфічних білків.

Перетравлювання білків починається в шлунку під впливом ферменту пепсину, який активується хлоридною кислотою. Вона створює оптимальні умови середовища для дії цього ферменту (рН 1,0...2,5) і викликає набрякання білка. Під дією пепсину білки розщеплюються на високомолекулярні поліпептиди – пептони. Отже, молоко при додаванні нейтралізованого шлункового соку зсідає. Це обумовлено здатністю пепсину, перетворювати казеїноген молока в казеїн, кальцієва сіль якого нерозчинна у воді.

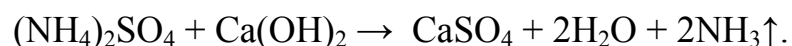
У дванадцятипалій кишці та тонкому кишечнику під дією ферментів підшлункового та кишкового соку перетравлювання білків і пептонів триває. Ферменти, які виділяються підшлунковою залозою: трипсин, хімотрипсин і панкреатопептидаза, каталізують розщеплення пептидних зв'язків у молекулі білка до поліпептидів і проявляють найбільшу активність у нейтральному або слабко лужному середовищі. Лужний сік підшлункової залози та жовч нейтралізують хлоридну кислоту, що надходить зі шлунка, і реакція кишкового середовища стає близької до нейтральної (рН 6,5...7,0). Поліпептиди, що утворилися, розщеплюються ферментами панкреатичного та кишкового соку на дипептиди й окремі амінокислоти. Гідролітичне розщеплення білків відбувається за схемою:

білки→протеози→пептони→поліпептиди→дипептиди→амінокислоти.

Амінокислоти всмоктуються в кров і з нею разносяться до тканин. Невелика частина амінокислот у кишечнику піддається дії мікробної флори. У результаті гнильного розпаду амінокислоти перетворюються в отрутні для організму продукти: індол, фенол, крезол і інші.

В органах і тканинах амінокислоти використовуються для побудови тканинних білків, ферментів, гормонів, пігментів, пуринових і піримідинових основ, азотистих речовин.

У результаті різних перетворень амінокислот у тканинах організму утворюються кінцеві продукти обміну: аміак, вуглекислий газ і вода. Оскільки аміак – дуже токсична речовина, то навіть незначне збільшення його кількості в крові викликає отруєння організму, особливо нервової системи. Щодооби в організмі людини утворюється 18-23,6 г аміаку. Проте, незважаючи на постійне утворення в тканинах і надходження в кров, концентрація його в крові незначна. У ході еволюції в людини виробилися спеціальні механізми для його знешкодження. До них належить утворення глютаміну, аспарагіну, амідів білків, синтез сечовини, зв'язування аміаку кислотами у вигляді амонійних солей. Для виявлення останніх використовують реакцію їх розкладання з виділенням вільного аміаку:



Практична частина

Дослід 1. Ферментативний гідроліз білка

У дві пробірки вмістити по 3 мл розчину яєчного білка та підігріти до його зсідання ($t = 85\text{ }^{\circ}\text{C}$). У першу пробірку внести 6 мл розчину пепсину, в другу – 6 мл розчину хлоридної кислоти. Через 5...10 хвилин у першій пробірці білок починає розчинятися, а в іншій – зміни не відбуваються. Зробити висновок.

Дослід 2. Аналіз шлункового соку

Одну краплю шлункового соку нанести скляною паличкою на смужку індикаторного паперу. Що відбувається? Зробити висновок про кислотність середовища шлункового соку.

Дослід 3. Зсідання молока під впливом пепсину шлункового соку

В пробірку внести 5 крапель активного шлункового соку, потім додати 20 крапель дистильованої води та невелику кількість порошку кальцій карбонату до нейтральної реакції на лакмус; рідину профільтрувати. Частину цієї рідини (нейтралізованого шлункового соку) налити в пробірку, прокип'ятити та дати охолонути. В 2 пробірки налити по 10 крапель свіжого молока. В одну пробірку додати 2 краплі нейтралізованого шлункового соку, в іншу – 2 краплі кип'яченого нейтралізованого шлункового соку. Обидві пробірки помістити у водяну баню при температурі 40° і стежити за початком зсідання молока. Воно настає тільки в тій пробірці, у якій присутній не кип'ячений фермент, субстрат та іони кальцію. Результати роботи зафіксувати у табл. 3. Зробити висновки.

Таблиця 3. Зсідання молока під дією шлунковим соком

Номер проби	Субстрат	Фермент	Видимі зміни та їх причини	
1				
2				

Дослід 4. Виявлення амонієвих солей

У пробірку налити 2-3 мл реагенту, що містить амоній сульфат $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ і 1...2 мл насиченого розчину кальцій гідроксиду $\text{Ca}(\text{OH})_2$, перемішати. Смужку індикаторного паперу змочити дистильованою водою та піднести до отвору пробірки, не торкаючись її стінок. Через деякий час папір здобуває синій колір. Пояснити це явище. Написати рівняння хімічної реакції між амоній сульфатом та кальцій гідроксидом. Зробити висновки.

Контрольні запитання та задачі

1. Назвати ферменти, під дією яких відбувається розщеплення білків.
2. Які залози травного тракту синтезують ферменти, що впливають на перетравлювання білків?

3. Визначити роль хлоридної кислоти шлункового соку у процесі перетравлювання білків.
4. Які сполуки утворюються в процесі розщеплення білків?
5. Які амінокислоти відносять до незамінних і чому?
6. Назвати кінцеві продукти перетворень амінокислот у тканинах організму. Пояснити біологічне значення синтезу сечовини.
7. Головним шляхом розпаду білків в організмі є:
- а) переамінування; б) ферментативний гідроліз;
в) декарбоксилювання; г) глікогеноліз.
8. Як називаються ферменти, що прискорюють гідроліз дипептидів:
- а) карбоксипептидаза; б) діпептидаза;
в) фосфорилаза; г) мальтаза.
9. Гістидин містить 27,07 % Нітрогену. Обчислити молекулярну масу цієї амінокислоти, якщо в молекулі гістидину три атоми Нітрогену.
10. Яку масу гліцину потрібно використати для добування 14,42 г етилового естеру гліцину, якщо вихід продукту 80 %.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 **ВОДНО-СОЛЬОВИЙ ОБМІН В ОРГАНІЗМІ ЛЮДИНИ.** **ВИЗНАЧЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ СОЛЕЙ**

Мета роботи: поглибити знання про біологічну роль елементів; вивчити та виконати якісні реакції на визначення хлоридів, фосфатів, сульфатів, іонів кальцію та магнію.

Теоретична частина

Обмін води та мінеральних солей є важливою ланкою метаболічних процесів, які перебігають в живих організмах і забезпечують процеси життєдіяльності. Мінеральні речовини використовуються організмом для підтримки постійного рівня осмотичного тиску в біологічних рідинах і тканинах, причому основна роль належить натрій хлориду. Вони беруть участь в утворенні буферних систем біологічних рідин і тканин, підтримуючи реакцію середовища (рН) на сталому рівні.

Для нормальної життєдіяльності організму необхідне надходження з їжею води, мінеральних речовин: натрію, калію, кальцію, магнію, заліза, міді, цинку, фосфору, сірки, хлору, йоду, бром, марганцю, фтору, кобальту, нікелю, миш'яку, хрому й ін. Доставка солей особливо необхідна для молодого організму – для нормального розвитку й росту. Без солей кальцію та магнію, фторидів, фосфатів неможливе формування скелету. У травному тракті солі разом з водою всмоктуються в кров і надходять у різні тканини та рідини організму, будучи їхньою необхідною складовою частиною. Вони беруть участь у багатьох процесах обміну між клітинами та позаклітинною рідиною.

Деякі органи та тканини здатні вибірково затримувати солі. Залізо депонується в печінці та селезінці, йод – у щитовидній залозі, натрій хлорид – у шкірі, кальцій, фосфор і магній – у кістковій тканині, калій – у м'язах, фтор – у зубній тканині.

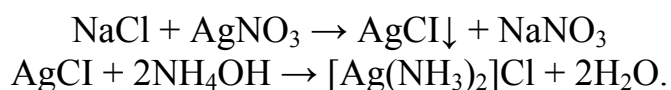
При недостатньому надходженні мінеральних солей у тканини з кишечника мінеральні сполуки знову переходять із сольових депо в кров і поширюються з током крові по всьому організму.

Оскільки фізіологічна функція клітин залежить не тільки від осмотичного тиску та величини рН, а також і від концентрації іонів та їхнього співвідношення, то зміна концентрацій солей у біологічних рідинах неминуче приводить до порушення ряду важливих фізіологічних функцій.

Особлива біологічна роль належить натрію, калію, хлору, кальцію, фосфору, залізу, цинку, магнію. Натрій бере участь у підтримці осмотичного тиску й збудженості м'язової тканини. Іони калію є антагоністами іона натрію й пригнічують збудження м'язового волокна. Калій приймає участь у проведенні нервового збудження. Обидва іони натрію та калію беруть участь у регуляції кислотно-лужної рівноваги. Хлор використовується для утворення хлоридної кислоти в шлунку. У регуляції обміну натрій хлориду бере участь щитовидна залоза, при недостатній функції якої спостерігається затримка хлору та натрію й розвивається мікседема, тобто слизовий набряк. Кальцій фосфат становить неорганічну основу кісткової тканини та бере участь у процесах збудження нервової й м'язової систем, необхідний для нормальної роботи серця, кишкового тракту й інших органів, бере участь у згортанні крові й впливає на проникність кровоносних судин. У регуляції обміну кальцію та фосфору бере участь гормон паращитовидної залози. Вітамін *D* обумовлює відкладення солей кальцію в кістках. При недостатньому надходженні ряду солей виникають різні захворювання: рахіт, остеопороз, анемія й ін. Наслідком порушення мінерального обміну може бути: відкладення солей у суглобах, у хребцях або утворення каменів у нирках та інше.

Тому визначення мінеральних речовин у крові та сечі має в багатьох випадках важливе діагностичне значення.

При додаванні аргентум нітрату до реактиву, що містить хлориди, підкисленою нітратною кислотою, випадає білий осад аргентум хлору, що темніє на світлі, не розчиняється в нітратній кислоті та розчиняється в аміаку за рівняннями

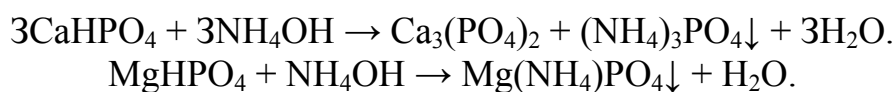


Фосфати утворюються в організмі в результаті розпаду фосфоровмісних органічних речовин (нуклеопротеїди, фосфопротеїди, фосфатиди, аденозинтрифосфорна кислота, фосфорні ефіри й ін.). Фосфор виділяється із сечею у вигляді однозаміщених і двоаміщених солей калію, натрію, амонію, кальцію та магнію: NaH_2PO_4 , Na_2HPO_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ і т. ін. Кількість солей фосфор-

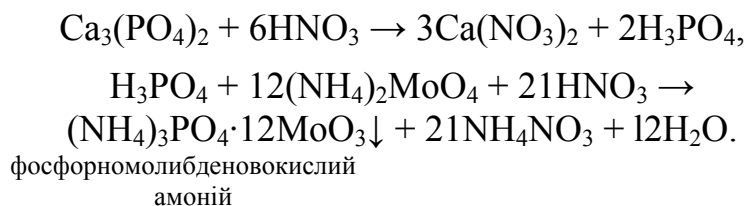
ної кислоти, виділених із сечею, показує інтенсивність обміну фосфоровмісних сполук і в середньому становить 2,5-3,5 г у добу при перерахуванні на P_2O_5 .

Співвідношення між однозаміщеними та двоаміщеними солями змінюється у зв'язку зі зміною характеру харчового раціону. При м'ясній їжі виділяється більше однозаміщених солей, тому що вивільнювані при розпаді білків іони PO_4^{3-} і SO_4^{2-} зв'язують велику кількість катіонів. При вживанні овочевої їжі спостерігається зворотне явище – із сечею виділяється переважна кількість двоаміщених солей фосфорної кислоти. В овочах присутні у великій кількості солі органічних кислот, які, окиснюючись в організмі до CO_2 і H_2O , звільняють лужні та лужноземельні метали (катіони). Останні зрушують кислотно-лужну рівновагу у бік утворення двоаміщених солей і приводять до виділення менш кислої сечі. Чим вище вміст у їжі кислих компонентів (м'ясна їжа), тим більше фосфору та кальцію виводиться із сечею, і, навпаки, при високому вмісті лужних компонентів (рослинна їжа) вміст у сечі фосфатів і кальцію знижується, і значна частина їх виділяється через кишечник.

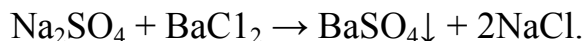
При додаванні до сечі аміаку або лугу виділяється білий аморфний осад, що розчиняється при підкисленні. Утворення осаду обумовлене присутністю в сечі однозаміщених і двоаміщених фосфатів кальцію й магнію, які в лужному середовищі перетворюються в нерозчинні у воді солі:



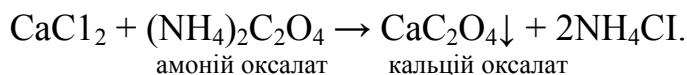
При нагріванні отриманих осадів з розчином амоній молібдату утворюється жовтий кристалічний осад амоній фосфатмолібдату. Молібденова реакція є додатковим доказом присутності в осаді солей фосфатної кислоти.



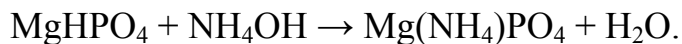
При додаванні до сечі, підкисленої хлоридною кислотою, барій хлориду утвориться білий кристалічний осад барій сульфату, нерозчинний у кислотах і в лугах



При додаванні до сечі розчину амоній оксалату випадає білий кристалічний осад кальцій оксалату, нерозчинний в ацетатній кислоті, але розчинний у мінеральних кислотах.



Якщо осад кальцій оксалату відфільтрувати та у фільтрат додати розчин аміаку, то при відстоюванні випадає невеликий кристалічний осад амоніймагній фосфату.



Практична частина

Дослід 1. Виявлення хлоридів

В пробірку вмістити 1 мл реактиву, що містить хлориди, додати 2 краплі 1%-го розчину аргентум нітрату та 2 краплі 10%-го розчину нітратної кислоти. Випадає білий сирнистий осад аргентум хлориду. Вміст пробірки перемішати, частину мутної рідини перелити в іншу пробірку та додати 1...2 краплі 10%-го розчину аміаку. Сирнистий осад аргентум хлориду розчиняється. До іншої частини мутної рідини додати по краплях 10%-й розчин нітратної кислоти. Розчинення осаду не відбувається. Написати рівняння хімічних реакцій та зробити висновок.

Дослід 2. Виявлення фосфатів

В пробірку вмістити 20 крапель реактиву, що містить фосфати, додати 2-3 краплі 10%-го розчину нітратної кислоти. До отриманого розчину налити 10...15 крапель молібденового реактиву та кип'ятити. При нагріванні, рідина набуває жовтого забарвлення, а при охолодженні випадає жовтий кристалічний осад амоній фосфатмолібдату. Написати рівняння хімічних реакцій та зробити висновок.

Дослід 3. Виявлення сульфатів

В пробірку вмістити 20 крапель реактиву, що містить сульфати, додати 5 крапель 10%-го розчину хлоридної кислоти та по краплях 5%-й розчин барій хлориду до повноти осадження, тобто доти, поки нова крапля барій хлориду не буде викликати утворення каламуті. Рідину відфільтрувати, і кислий фільтрат помістити в водяну баню на 5...10 хвилин та нагріти. Вміст пробірки стає мутним від виділення нової порції барій сульфату. Написати рівняння хімічної реакції та зробити висновок.

Дослід 4. Виявлення кальцію та магнію

В пробірку вмістити 1 мл розчину, що містить іони магнію та кальцію, додати 1...2 краплі 10%-го розчину ацетатної кислоти й 2...3 краплі 5%-го розчину амоній оксалату. Випадає кристалічний осад кальцій оксалату. Рідину відфільтрувати, і до фільтрату додати 4 краплі 10%-го розчину аміаку (до лужної реакції на лакмус), Через деякий час випадає осад амоній магній фосфату, яка не розчинна в аміаку, але розчинна в органічних і мінеральних кислотах. Написати рівняння хімічних реакцій та зробити висновок.

Контрольні запитання та задачі

1. Яке біологічне значення мінеральних солей для нормальної життєдіяльності організму?

2. Біологічне значення натрію, калію.
3. Біологічна роль хлоридів.
5. Біологічна роль фосфатів.
6. Яке значення мінеральних речовин в організмі (заліза, сірки і йоду)?
7. Які функції виконує в організмі кальцій:
 - а) структурний компонент кісткової тканини; б) міститься в біологічних рідини; в) бере участь у процесах м'язового скорочення; г) входить до складу гемоглобіну?
8. В тканинах організму мінеральні речовини знаходяться у вигляді:
 - а) атомів; б) молекул; в) іонів; г) колоїдних частинок.
9. Які маси Натрію та Хлору містяться у 100 г кухонної солі?
10. Добова потреба людини у Ферумі становить 18 мг. Обчислити, скільки шматочків білого хліба потрібно спожити для задоволення добової потреби в цьому хімічному елементі, якщо в одному шматочку міститься 0,8 мг Феруму.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

ЕЛЕМЕНТИ БІОЕНЕРГЕТИКИ

Мета роботи: оволодіти методами розрахунку термодинамічних характеристик реакцій обміну речовин та отримати навички розв'язання задач на енергетичний обмін.

Теоретична частина

Процеси життєдіяльності пов'язані з постійними витратами енергії. Енергія необхідна для механічної роботи при скороченні м'язів, для електричної роботи – при генерації та передачі нервових імпульсів, для осмотичної роботи – при секреції, ресорбції та фільтрації речовин на клітинних мембранах, для хімічної роботи – при утворенні нових хімічних зв'язків між атомами в процесі біосинтезу складних органічних сполук. Джерелом енергії для всіх видів біологічної роботи є потенційна хімічна енергія, яка знаходиться в молекулах поживних речовин. Вона вивільнюється в процесі обміну речовин і за допомогою спеціальних молекулярних систем перетворюється в різні види енергії. Термодинамічною системою називається будь-який об'єкт природи, що складається з досить великої кількості структурних одиниць і відокремлений від інших об'єктів природи реальною або уявлюваною границею розділу. Об'єкти природи, що не входять у систему, називаються зовнішнім середовищем. Ізольованою системою називається система, яка не обмінюється з зовнішнім середовищем енергією та масою. Закритою називається система, яка обмінюється енергією. Відкритою називається система, яка обмінюється з зовнішнім середовищем масою і енергією.

Процеси перетворення енергії в живих організмах повністю підкоряються законам термодинаміки. Вивченням закономірностей перетворення

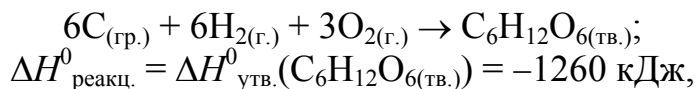
енергії в живих організмах займається біоенергетика – розділ біохімії, який вивчає перетворення і використання енергії в живих клітинах. Живий організм при цьому є відкритою системою, оскільки він постійно обмінюється з зовнішнім середовищем як енергією, так і масою. Відкриті системи ніколи не досягають повної рівноваги, знаходяться у стаціонарному стані, при якому швидкість притоку речовини і енергії відповідає швидкості відтоку із системи.

Для визначення зміни енергії системи застосовуються енергетичні характеристики (термодинамічні функції стану). Важливою їх особливістю є незалежність від способу досягнення даного стану системи.

Внутрішня енергія системи (U) складається з кінетичної й потенційної енергії складових речовин молекул, атомів, ядер, електронів. Відповідно до першого закону термодинаміки, алгебраїчна сума змін кількості всіх видів енергії в будь-якій ізольованій системі дорівнює нулю, тобто $\Delta U = 0$, $\sum E = U = \text{const}$. Зміна внутрішньої енергії системи ΔU обумовлена роботою A , що відбувається при взаємодії системи із середовищем і передачею теплоти Q між середовищем і системою

$$\Delta U = Q - A.$$

Ентальпія (ΔH) – функція стану системи, збільшення якої дорівнює теплоті, отриману системою в ізобарному процесі. Ентальпією утворення речовини A – $\Delta H_{\text{утв.}}(A)$ називається тепловий ефект реакції утворення 1 моля речовини A з простих речовин. За стандартних умов ($P^0 = 1$ атм, $T^0 = 298^\circ\text{C}$) функція $\Delta H_{\text{утв.}}^0(A)$ визначена для багатьох речовин і наводиться в довідковій літературі. Наприклад, ентальпією утворення глюкози є тепловий ефект наступної реакції



де $\Delta H_{\text{утв.}}^0(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_{6(\text{тв.})})$ – ентальпія утворення глюкози; $\Delta H_{\text{реак.}}^0$ – тепловий ефект реакції за стандартних умов.

Ентальпія утворення простих речовин, наприклад, $\text{H}_{2(\text{г.})}$, $\text{O}_{2(\text{г.})}$, $\text{C}_{(\text{гр.})}$, приймають рівними нулю.

В основі термохімічних розрахунків лежить закон Гесса. Тепловий ефект реакції, що перебігає при сталому тиску або при сталому об'ємі, не залежить від числа проміжних стадій, а визначається лише вихідним і кінцевим станом системи.

При проведенні термохімічних розрахунків застосовується наслідок із закону Гесса: тепловий ефект реакції (ентальпія) хімічної реакції дорівнює різниці алгебраїчної суми теплот (ентальпій) утворення стехіометричної кількості продуктів та алгебраїчної суми теплот (ентальпій) утворення стехіометричної кількості вихідних речовин.

Так, для реакції $nA + nB \rightarrow nC + nD$

$$\Delta H_{\text{реакц.}}^0 = (n_c \Delta H_C + n_d \Delta H_D) - (n_a \Delta H_A + n_b \Delta H_B).$$

Приклад 1. Окиснення глюкози відбувається з виділенням великої кількості теплоти: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$. Визначити тепловий ефект реакції за стандартних умов (табл. 4).

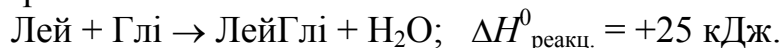
Таблиця 4

Речовина	CO ₂	H ₂ O	C ₆ H ₁₂ O ₆	O ₂
$\Delta H^0_{\text{утв.}}, \text{кДж/моль}$	-393,5	-286	-1260	0

$$\Delta H^0_{\text{реакц.}} = 6 \cdot \Delta H^0_{\text{утв.}}(CO_2) + 6 \cdot \Delta H^0_{\text{утв.}}(H_2O) - \Delta H^0_{\text{утв.}}(C_6H_{12}O_6) - 6 \cdot \Delta H^0_{\text{утв.}}(O_2); \Delta H^0_{\text{реакц.}} = 6 \cdot (-286) + 6 \cdot (-393,5) - 6 \cdot (-1260) = -2817 \text{ кДж.}$$

З енергетичної точки зору хімічні реакції поділяють на дві групи: екзергонічні та ендергонічні. Екзергонічні реакції відбуваються з виділенням енергії і мають від'ємне значення ΔH . Такі реакції проходять самодовільно. До них відносяться реакції гідролізу. Ендергонічні реакції відбуваються з поглинанням енергії, мають позитивне значення ΔH і можуть перебігати тільки при спряженні з екзергонічними реакціями. До таких типів реакцій відносять реакції синтезу, деякі процеси, які проходять всередині клітин, та процеси життєдіяльності організму в цілому.

Наприклад, реакція утворення лейцилгліцина (Лейглі) з амінокислот лейцину (Лей) і гліцину (Глі) супроводжується поглинанням теплоти, процес ендотермічний:



Ця реакція є одним з етапів утворення білка в організмі.

Напрямок перебігу процесів в ізольованих системах визначає термодинамічна функція ентропія (S), що є мірою неупорядкованості системи. Згідно другого закону термодинаміки енергія може існувати у двох формах: у формі вільної або корисної енергії і у формі енергії, яка не використовується, а розсіюється у просторі. При будь-якій фізичній зміні спостерігається тенденція до розсіювання енергії, тобто до зменшення кількості вільної енергії і до збільшення ентропії. Отже, відповідно до другого закону термодинаміки в ізольованій системі самодовільні процеси перебігають убік збільшення ентропії ($\Delta S > 0$).

В якості критерію самодовільного перебігу реакції у відкритих і закритих системах використовується наступна термодинамічна функція стану – енергія Гіббса або вільна енергія (G). Зміна енергії Гіббса враховує спільний вплив ентальпійного й ентропійного факторів і розраховується по формулі:

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S.$$

В ізобарно-ізотермічних умовах ($P, T = \text{const}$) у системі самодовільно можуть здійснюватися тільки такі процеси, у результаті яких енергія Гіббса системи зменшується ($\Delta G < 0$). У стані рівноваги енергія Гіббса системи не

змінюється ($G = const$, $\Delta G = 0$). Ентальпія (ΔH) є мірою загальної кількості тепла в системі. Добуток $T \cdot \Delta S$ – це та частина загальної енергії системи, що не може бути перетворена в роботу та розсіюється у вигляді теплоти в навколишнім середовищі. Зменшення вільної енергії ($-\Delta G$) – це частина загальної енергії системи, що може бути перетворена в роботу, причому для оборотних процесів корисна робота є максимально можливою:

$$-\Delta G = A_{\text{макс}}(P, T = const).$$

Зміну ентропії й енергії Гіббса можна розрахувати в ході реакції, користуючись співвідношеннями:

$$\begin{aligned}\Delta S^0_{\text{реакц.}} &= \sum S^0_{\text{прод.}} - \sum S^0_{\text{вих. реч-н.}}, \\ \Delta G^0_{\text{реакц.}} &= \sum \Delta G^0_{\text{прод.}} - \sum \Delta G^0_{\text{вих. реч-н.}},\end{aligned}$$

де S^0 (речовини) і ΔG^0 (речовини) – табличні дані.

Зміни ентропії та вільної енергії в біологічних процесах пов'язані чіткою залежністю: збільшення ентропії при необоротній хімічній реакції супроводжується зменшенням кількості вільної енергії. Всі біохімічні процеси перебігають зі зменшенням ΔG доти, поки не буде досягнений стан рівноваги, при якому зміна вільної енергії мінімальна, а ентропія максимальна.

Коефіцієнт корисної дії при довільному ізобарно-ізотермічному процесі підкоряється нерівності $\eta \leq \Delta G / \Delta U$, що може бути математичним виразом другого закону термодинаміки для неізованих систем. Прикладом такої реакції може бути окиснення глюкози киснем, яке супроводжується зменшенням енергії Гіббса $\Delta G = -2817$ кДж/моль. Саме в результаті цієї реакції здійснюються різні види роботи в організмі людини. Зменшення вільної енергії системи в результаті окиснення глюкози повинно приблизно дорівнювати зменшенню внутрішньої енергії $\Delta G \approx \Delta U = -2817$ кДж. Отже, максимальний коефіцієнт корисної дії повинен дорівнювати 1:

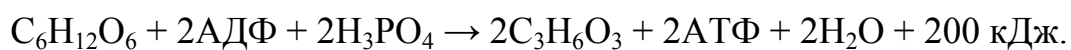
$$\eta_{\text{макс.}} = \Delta G / \Delta U = -2817 / -2817 = 1.$$

У дійсності η дорівнює приблизно 0,4, тобто 60 % енергії, що виділяється при окисненні глюкози, розсіюється у вигляді теплоти.

В процесі біологічного окиснення при розщепленні органічних молекул виділяється енергія, яка використовується для виконання життєвих функцій. Процес окиснення – це хімічні реакції, при яких відбувається рух електронів від речовини, яка окиснюється (донор електронів) до речовини, яка відновлюється (акцептор електронів). У більшості реакцій біологічного окиснення в якості акцептора електронів використовується кисень. У таких випадках спостерігається аеробний або дихальний тип енергетики. Існують хімічні реакції, де акцептором є не кисень, а інші речовини. Такі реакції відносяться до анаеробного типу енергетики. Якщо вся енергія окисної реакції виділяється у вигляді тепла, то це вільне окиснення. Якщо енергія окисних перетворень

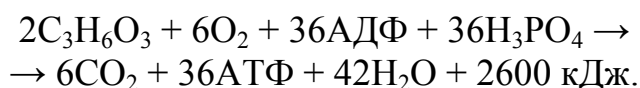
використовується одночасно для різних реакцій (синтез біоорганічних сполук, утворення високоенергетичного стану клітинних мембран), відбувається спряжене окиснення. Процес енергетичного обміну поділяється на три послідовні етапи [3]. На першому (підготовчому) етапі макромолекули білків, вуглеводів, жирів розпадаються на складові молекули: з крохмалю, глікогену утворюється глюкоза; з ліпідів – гліцерин і жирні кислоти, з білка – амінокислоти. Розпад речовин на цьому етапі супроводжується незначним енергетичним ефектом, оскільки його біологічне значення – підготувати речовини до подальших перетворень. Другий етап енергетичного обміну – неповний або анаеробний – гліколіз, при якому відбувається багатоступінчастий процес розпаду речовин.

Розглянемо приклад анаеробного розщеплення глюкози. Гліколіз складається з 13 послідовних ферментативних реакцій. Реакція гліколізу в клітині відбувається за участю фосфатної кислоти та АДФ. Сумарне рівняння реакції:

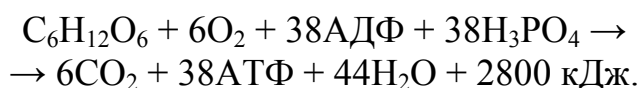


З виділеної енергії (200 кДж) 80 кДж енергії акумулюється в 2 молях АТФ, 120 кДж розсіюється у вигляді тепла. Таким чином в процесі гліколізу в АТФ акумулюється 40 % енергії, тоді як в одному молі АТФ акумулюється 40 кДж енергії.

Аеробне розщеплення, як і анаеробний етап, є також рядом послідовних ферментативних реакцій. Кожна реакція каталізується специфічним ферментом. Поступовість кисневого розщеплення і виділення енергії надзвичайно важливі для акумулювання енергії в АТФ. Проміжні реакції розщеплення молочної кислоти до кінцевих продуктів (CO_2 і H_2O) ідуть з виділенням енергії. У цьому процесі також беруть участь фосфорна кислота і АТФ. Сумарне рівняння кисневого розщеплення:



В 36 молях АТФ акумулюється $40 \cdot 36 = 1440$ кДж енергії, а 1160 кДж виділяється у вигляді тепла. Таким чином, акумулюється близько 55 % утвореної енергії (1440 кДж з 2600). При співставленні безкисневих і кисневих етапів видно, що останній значно ефективніший. Кількість виділеної і акумульованої енергії значно більша, ніж при безкисневому розщепленні. Сумарне рівняння енергетичного обміну має вигляд:



Майже 55 % всієї енергії, що вивільняється при окисненні глюкози, клітина зберігає у формі АТФ. Решта її 45 % розсіюється у вигляді тепла.

Приклад 2. У процесі дисиміляції в тканинах відбулося розщеплення 6 молів глюкози, з яких повному аеробному розщепленню піддалась тільки половина. Визначте, скільки грамів молочної кислоти і вуглекислого газу

утворилось внаслідок реакції. Скільки молів АТФ утворилось, яка кількість енергії і в якому вигляді акумульована в ній?

Дано:

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 6 \text{ молів};$$

з них 3 молі $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ – повне кисневе розщеплення

$$m(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3), m(\text{CO}_2), \nu(\text{АТФ}), Q - ?$$

Розв'язання.

1. Визначаємо кількість глюкози, яка підлягає неповному (анаеробному) розщепленню.

$$6 - 3 = 3(\text{молі}) \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6.$$

2. Визначаємо масу молочної кислоти ($m(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3)$), яка утворилась при неповному розщепленні глюкози.



1 моль $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ утворює 2 молі $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$;

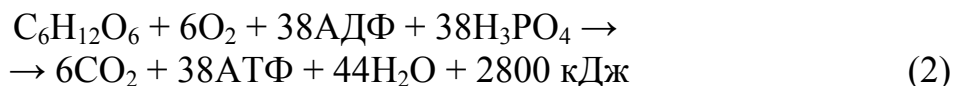
3 молі $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ утворює ν молів $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$;

$$\nu = 2 \cdot 3 = 6(\text{молів}) \text{ C}_3\text{H}_6\text{O}_3.$$

$$M(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) = 3 \cdot 12 + 6 \cdot 1 + 3 \cdot 16 = 90 \text{ (г/моль)}; m(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) = 90 \cdot 6 = 540 \text{ (г)}.$$

Отже при неповному розщепленні глюкози утворюється: $m(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) = 540 \text{ г}$.

3. Визначаємо масу CO_2 ($m(\text{CO}_2)$), що утворилась внаслідок повного кисневого розщеплення 3 молів $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.



1 моль $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ утворює 6 молів CO_2 ;

3 молі $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ утворює ν молів CO_2 ;

$$\nu = 6 \cdot 3 = 18(\text{молів}) \text{ CO}_2.$$

$$M(\text{CO}_2) = 12 + 2 \cdot 16 = 44 \text{ (г/моль)}; m(\text{CO}_2) = 44 \cdot 18 = 792 \text{ (г)}.$$

4. Визначаємо кількість речовини АТФ ($\nu(\text{АТФ})$) і кількість енергії (Q), які утворились при повному розщепленні глюкози за рівнянням (2).

а) $\nu(\text{АТФ})$ – ?

1 моль $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ утворює 38 молів АТФ;

3 молі $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ утворює ν молів АТФ;

$$\nu_{\text{повн.}} = 38 \cdot 3 = 114(\text{молів}) \text{ АТФ}.$$

б) Q – ?

1 моль АТФ акумулює 40 кДж;

114 молів АТФ акумулює Q кДж;

$$Q_{\text{повн.}} = 40 \cdot 114 = 4560 \text{ кДж}.$$

Отже, при повному розщепленні 3 молів глюкози утворилось 114 молів АТФ і 4560 кДж енергії.

5. Визначаємо кількість молів АТФ та енергії, що утворюються внаслідок неповного розщеплення глюкози за рівнянням (1).

а) $\nu(\text{АТФ})$ —?

1 моль $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ утворює 2 молі АТФ;

3 молі $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ утворює ν молів АТФ;

$$\nu_{\text{неповн.}} = 2 \cdot 3 = 6 (\text{молів}) \text{ АТФ.}$$

б) Q —?

1 моль АТФ акумулює 40 кДж;

6 молів АТФ акумулює Q кДж;

$$Q_{\text{неповн.}} = 40 \cdot 6 = 240 \text{ кДж.}$$

6. Визначаємо кількість молів АТФ та енергії, які утворились внаслідок неповного розщеплення 3 молів глюкози та повного розщеплення 3 молів глюкози разом.

$$\nu(\text{АТФ}) = \nu_{\text{неповн.}}(\text{АТФ}) + \nu_{\text{повн.}}(\text{АТФ}) = 6 + 114 = 120 (\text{молів}) \text{ АТФ}$$

$$Q = Q_{\text{неповн.}} + Q_{\text{повн.}} = 240 + 4560 = 4800 (\text{кДж}).$$

Відповідь: $m(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3) = 540$ (г); $m(\text{CO}_2) = 792$ (г); $\nu(\text{АТФ}) = 120$ молів; $Q = 4800$ кДж.

Практична частина

Виконання варіанту практичної роботи «Елементи біоенергетики. Розрахунок кількості енергії при аеробних та анаеробних процесах».

Контрольні запитання та задачі

1. Дайте визначення поняттям: асиміляція, дисиміляція, анаболізм, катаболізм.
2. Що розуміють під обміном речовин організму?
3. Дати визначення поняттю «Енергетичний обмін».
4. Від чого залежать енергетичні потреби людського організму?
5. Що є основним джерелом енергії для людини?
6. Дати характеристики етапам звільнення енергії в організмі.
7. Процеси синтезу складних молекул з більш простих, що супроводжуються споживанням енергії, називаються:
 - а) конденсацією;
 - б) полімеризацією;
 - в) катаболізмом;
 - г) анаболізмом.
8. Яка сполука є головним макроергом в організмі людини:
 - а) аденозинтрифосфат;
 - б) креатинфосфат;
 - в) сахараза;
 - г) фруктозо-6-фосфат?
9. Розрахуйте ΔH^0 згоряння етанолу, якщо відомо, що при згорянні 4,6 г спирту виділяється 137 кДж теплоти. Спалювання проводили в стандартних умовах.
10. М'язи ніг під час бігу за 1 хвилину витрачають 24 кДж енергії. Яку масу глюкози витратять м'язи ніг за 50 хвилин, якщо в першу половину часу в м'язах буде йти повне засвоєння глюкози, а в другу половину – безкисневе?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОМІЖНИХ І КІНЦЕВИХ ПРОДУКТІВ ОБМІНУ ВУГЛЕВОДІВ

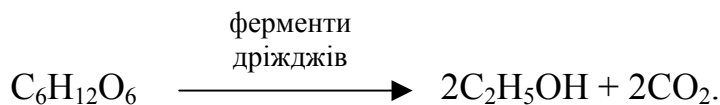
Мета роботи: ознайомитись з механізмами анаеробного окиснення глюкози та визначити кінцеві продукти її спиртового бродіння.

Теоретична частина

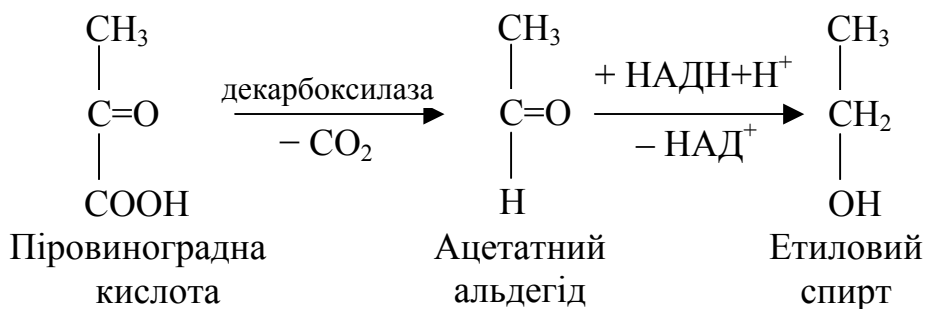
Перетворення вуглеводів, а саме глюкози, у тканинах організму може відбуватися двома шляхами анаеробним та аеробним. Найпростішим шляхом окиснення вуглеводів є бродіння – процес утворення енергії шляхом окиснення глюкози й інших субстратів при відсутності кисню, тобто в анаеробних умовах. Залежно від кінцевого продукту, що утворюється в ході бродіння глюкози, розрізняють молочнокисле, спиртове, оцтовокисле та інші види бродіння.

Молочнокисле бродіння, тобто розпад глюкози до молочної кислоти (гліколіз) та глікогену (глікогеноліз) відбувається під впливом специфічних ферментів.

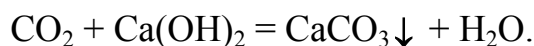
При спиртовому бродінні глюкози відбувається розщеплення її молекул на молекули етилового спирту та карбон (IV) оксиду під впливом ферментів, що містяться у дріжджах за схемою:



Процеси розпаду глюкози при бродінні та гліколізі протікають однаково до утворення піровиноградної кислоти, розходження починається з подальшого перетворення піровиноградної кислоти. Під дією декарбоксилази дріжджів піровиноградна кислота перетворюється в ацетатний альдегід, який відновлюється за участю алкогольдегідрогенази та НАДН–Н⁺ в етиловий спирт.



Вуглекислий газ, який утворюється при бродінні глюкози, можна відкрити в спеціальних апаратах для зброжування. Карбон (IV) оксид, що виділяється, поглинається кальцій гідроксидом і при цьому утворюється нерозчинний осад кальцій карбонату:



Спирт, який утворюється при бродінні, можна відкрити за допомогою реакції одержання йодоформу:



Енергетичний ефект анаеробного розпаду вуглеводів менше аеробного. За умов анаеробного окиснення виділяється всього 197 кДж енергії, з яких 40 % акумулюється в макроергічних зв'язках двох молекул АТФ, а в аеробній фазі виділяється 2675 кДж, складає близько 93 % усієї енергії. Накопичення енергії пов'язане з утворенням АТФ. При гліколізі накопичуються 3 молекули АТФ, тобто значно менше, ніж при аеробному окисненні глюкози (38 молекул АТФ). Незважаючи на менший енергетичний ефект, анаеробний розпад вуглеводів відіграє велику роль як джерело енергії, котра швидко утворюється. Особливе значення анаеробний розпад здобуває під час великого коротко-часного фізичного навантаження, наприклад, у спортсменів під час бігу на короткі дистанції.

Практична частина

Дослід 1. Відкриття продуктів дріжджового бродіння глюкози

У ступці розтерти 1 г дріжджів, доливаючи невеликими порціями 20 мл 5%-го розчину глюкози. Отриману масу перелити в апарат для зброжування. До апарату приєднати газовідвідну трубку, кінець якої помістити в колбу з 5 %-вим розчином вапняної води ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Наповнений апарат поставити в термостат на 30-60 хвилин до накопичення газу в ньому.

Через вказаний час термостат вимкнути, апарат для зброжування глюкози вилучити з нього. Що відбувається в апараті? Записати свої спостереження та рівняння реакції, яка відбулася.

Дослід 2. Якісна реакція на CO_2

В колбі з 5 %-вим розчином $\text{Ca}(\text{OH})_2$ через газовідвідну трубку виділяється вуглекислий газ, який з кальцій гідроксидом утворює нерозчинний у воді кальцій карбонат. Що спостерігається у колбі? Пояснити це рівнянням реакції утворення осаду.

Дослід 3. Якісна реакція на спирт

Невелику кількість рідини з апарата відфільтрувати у пробірку. До фільтрату додати 2-3 краплі 10%-го розчину I_2 в KI – до появи жовтого забарвлення, злегка нагріти. Через якийсь час відчувається характерний запах йодоформу. Зробити висновок. Написати рівняння реакції одержання йодоформу.

Контрольні запитання та задачі

1. Скільки молекул АТФ накопичується при гліколізі та глікогенолізі?
2. У яких органах перебігає анаеробний процес розпаду вуглеводів?
3. Навести подібне та відмінності між процесами гліколізу й дріжджового бродіння.

4. Назвати продукти перетворення молочної кислоти в анаеробних умовах.
5. Навести схему аеробного розщеплення вуглеводів?
6. Навести види бродіння глюкози та визначити їхнє практичне значення.
7. Назвати кінцеві продукти вуглеводного обміну:
а) глюкоза; б) амінокислота;
в) CO_2 ; г) молочна кислота.
8. Енергетично для організму найбільш вигідний обмін вуглеводів, що йде по шляху:
а) бродіння; б) гліколізу; в) глікогенолізу; г) дихання.
9. Вміст цукру в крові здорової людини 80 – 120 мг, а глюкози на 20 % менше. Обчислити норму вмісту глюкози в крові.
10. Яку масу глюкози потрібно піддати бродінню, щоб отримати 200 г етилового спирту, вихід якого 90 %.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ОРГАНІЗМУ МЕТОДОМ НЕПРЯМОЇ КАЛОРИМЕТРІЇ

Мета роботи: ознайомитись з методами непрямой калориметрії та навчитись виконувати розрахунки обміну енергії у різних станах організму (стан спокою, після фізичного навантаження).

Теоретична частина

Біоенергетика вивчає механізми перетворення енергії в біологічних системах за допомогою фізико-хімічних методів. Вона вивчає проблеми термодинаміки біологічних систем, джерел енергії для процесів життєдіяльності організмів, проблеми дихання, фотосинтезу, бродіння, активного транспорту іонів та інших речовин через біологічні мембрани, а також проблеми м'язового скорочення та взаємоперетворення різних видів енергії – електричної, хімічної і механічної в організмі.

Енергетичний баланс організму вивчається методами прямої і непрямой калориметрії. У методах прямої калориметрії експериментальним шляхом визначається кількість виділеного або поглиненого тепла. У розрахункових методах непрямой калориметрії на підставі дихальних коефіцієнтів і калориметричного еквівалента кисню визначаються енергетичні витрати організму.

Дихальний коефіцієнт – це співвідношення між об'ємами виділеного вуглекислого газу й поглиненого кисню. Для вуглеводів він дорівнює 1,0, білків – 0,8, жирів – 0,7. Кількість теплоти, що виділяється при утилізації 1 л кисню, називається калориметричним еквівалентом кисню. Для вуглеводів він

дорівнює 21,2 кДж, білків –20,00 кДж, жирів – 19,6 кДж. Середній калориметричний еквівалент кисню дорівнює 20,32 кДж.

Для визначення об'єму повітря під час вдиху та видиху використовують спірометри або капнометри. За допомогою спірометрів оцінюють функціонування легенів шляхом вимірювання об'єму повітря, яке піддослідний видихує після максимально повного вдиху. Капнометр застосовують для вимірювання хвилинного об'єму дихання.

Приклад 1. Спортсмен, пробігаючи дистанцію, видихає за 1 хв 90 л повітря, у якому втримується 12 % кисню, 8 % вуглекислого газу. Яка витрата енергії спортсмена за 5 хв дистанції?

Рішення:

1. Визначимо обсяг кисню у вдихуваному повітрі:

$$V_1(\text{O}_2) = 90 \cdot 0,20 = 18 \text{ л,}$$

де 0,2 - об'ємна частка кисню у вдихуваному повітрі.

2. Визначимо обсяг кисню у видихуваному повітрі:

$$V_2(\text{O}_2) = 90 \cdot 0,12 = 10,8 \text{ л.}$$

3. Визначимо обсяг кисню, утилізованого організмом:

$$V(\text{O}_2) = V_1(\text{O}_2) - V_2(\text{O}_2) = 18 - 10,8 = 7,2 \text{ л.}$$

4. Визначимо енергетичні витрати спортсмена. Середній калориметричний еквівалент кисню 20,32 кДж за 1 хв:

$$E = 20,32 \cdot 7,2 = 146,3 \text{ кДж.}$$

5. Визначаємо витрату енергії за 5 хв:

$$E = 146,3 \cdot 5 = 731,52 \text{ кДж.}$$

Практична частина

Дослід. 1. Визначення частоти дихання

Для визначення частоти дихання покласти руку на нижню частину грудної клітки або верхню частину живота і кожний вдих чи видих (обидві фази) вважати за один дихальний рух. Частоту дихання розрахувати за 1 хвилину в стані спокою ($\text{ЧД}_\text{д}$).

Досліджуваному пропонується виконати 10...20 присідань в середньому темпі: за 1 с присісти, за наступну – встати, або виконати 60 стрибків. Видихати під час присідання. Після виконання завдання визначити частоту дихання за 1 хвилину ($\text{ЧД}_\text{р}$). Визначити відсоток збудження по формулі:

$$\text{ЧД} = \frac{(\text{ЧД}_\text{р} - \text{ЧД}_\text{д})}{(\text{ЧД}_\text{д})} \cdot 100,$$

де $\text{ЧД}_\text{р}$ – частота дихання після роботи, $\text{ЧД}_\text{д}$ – частота дихання до роботи.

Оціночні орієнтири: після 20 присідань або 60 стрибків ЧД збільшується на 50-100 %.

Дослід 2. Визначення витрати енергії при виконанні фізичних вправ методом непрямой калориметрії

Визначення об'єму повітря при вдиху та видиху у стані спокою та після виконання фізичних вправ (згідно дослід 1) провести за допомогою приладів – спірометру або капнометру.

2.1. Порядок використання спірометру.

1. Встановити чистий одноразовий мундштук на спірометр.

2. Зробити глибокий вдих.

3. Затримати дихання та видихнути рівномірно з зручною швидкістю.

4. Видихання продовжити доки не закінчиться видих.

5. Повторити процедуру ще раз.

2.2. Хвилинний об'єм дихання за допомогою капнометру вимірюється у такому порядку.

1. Вимірювання проводять сидячи. Ніс закривається пальцями.

2. Встановити чистий одноразовий мундштук. Дихання ротом звичайне природне.

3. Початок дихання фіксується включенням секундоміру або замірюванням часу по годиннику.

4. Момент наповнення камери визначається візуально.

5. Вимірювальну процедуру повторюють два рази, вибираючи середнє значення.

За результатами вимірювання об'ємів повітря під час вдихів та видихів у стані спокою та після виконання фізичних вправ розрахувати витрати енергії організма спортсмена методом непрямой калориметрії (приклад 1) за 10 хвилин.

Вважати, що повітря містить у своєму складі при вдиху 20 % O_2 і 0,03 % CO_2 ; а під час видиху - відповідно 13-17 % O_2 і 5-8 % CO_2 .

Зробити висновок про енергетичні затрати організму під час виконання фізичних вправ.

Контрольні запитання та задачі

1. Якими методами вивчають енергетичний баланс організму?

2. Дати визначення поняттю «дихальний коефіцієнт».

3. Дати визначення поняттю «калориметричний еквівалент кисню».

4. Що досліджують за допомогою спірометрів?

5. Для яких вимірювань застосовують капнометри?

6. Який склад повітря при вдиху та під час видиху?

7. Спортсмен при бігу на середні дистанції видихає за 1 хв 95 л повітря, у якому міститься 14 % кисню, 6 % вуглекислого газу. Яка витрата енергії спортсмена за 7 хв дистанції?

8. Визначити витрату енергії людини в стані м'язового спокою, якщо за 10 хв він видихає 60 л повітря, у якому міститься 15 % кисню і 5 % вуглекислого газу.

9. Людина у стані повного спокою за 1 хвилину вдихає 0,24 л кисню, в видихує – 0,19 л вуглекислого газу. Скільки відсотків кисню використовується в процесі утворення вуглекислого газу?

10. За нормальних умов людина вдихує 3,1 м³ повітря. Обчислити масу цього повітря.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

БІОХІМІЯ М'ЯЗІВ І М'ЯЗОВОГО СКОРОЧЕННЯ

Мета роботи: ознайомитись з типами м'язів, структурною організацією м'язових волокон та механізмом м'язового скорочення.

Теоретичні відомості

У функціонуванні м'язів найважливішим є те, що в процесі м'язового скорочення відбувається перетворення хімічної енергії АТФ безпосередньо в механічну енергію скорочення та руху. Це явище властиво тільки живим організмам.

У тварин і людини є два основних типи м'язів: поперечносмугасті й гладкі. Поперечносмугасті м'язи прикріплюються до кісток, тобто до скелету, і тому ще називаються скелетними. Кожний поперечносмугастий м'яз складається з декількох тисяч волокон, рівні організації яких подано на рис. 1.

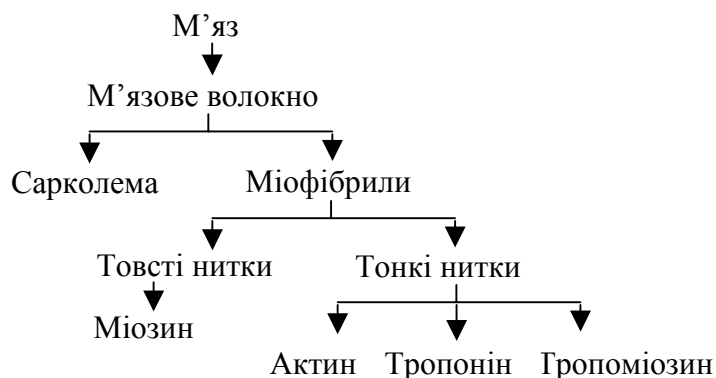


Рис. 1. Рівні структурної організації м'язів

Кожне м'язове волокно оточене клітинною оболонкою – сарколемою. М'язові волокна містять скорочувальні елементи – міофібрили, які займають більшу частину обсягу м'язових клітин, їхній діаметр складає близько 1 мкм. Вони є складними структурами, побудованими, у свою чергу, з великої кількості м'язових ниток (протофібрил, або філаментів) двох типів – товстих і тонких. Товсті нитки мають діаметр 15 нм, тонкі – 7 нм. На рис. 2. подано схему будови міофібрили.

Ділянка міофібрили, що складається з товстої нитки та двох частин тонких, називається саркомером. Кожна міофібрила складається з декількох

сотень саркомерів (до 1000). Вивчення хімічного складу міофібрил показало, що товсті й тонкі нитки складаються тільки з білків.

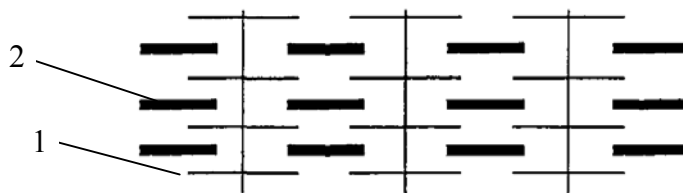


Рис. 2. Схема будови міофібрили:
1 – тонкі нитки; 2 – товсті нитки

Міозин – фібрилярний білок з молекулярною масою близько 490000, що містить два дуже довгі поліпептидні ланцюги. Ці ланцюги утворюють подвійну спіраль, але на одному кінці ці нитки розходяться та формують кулясте утворення – глобулярну голівку. Тому в молекулі міозину розрізняють дві частини – глобулярну голівку (1) та хвіст (2) (рис. 3).

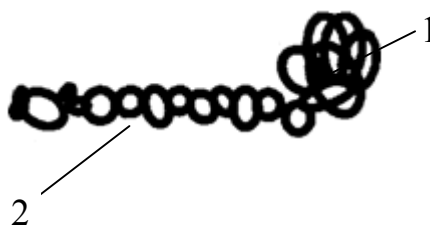


Рис. 3. Схема будови молекули міозину

У голівках міозину є два важливих центра. Один з них каталізує гідролітичне розщеплення АТФ, тобто відповідає активному центру ферменту. Другий центр голівки міозину забезпечує під час м'язового скорочення зв'язок товстих ниток з білком тонких ниток – актином. Тонкі нитки складаються із трьох білків: актину, тропоніну та тропоміозину. Актин – основа тонких ниток – глобулярний білок з молекулярною масою 46000. Цей білок має дві найважливіші властивості. По-перше, проявляє високу здатність до полімеризації з утворенням довгих ланцюгів, які називаються фібрилярним актином. По-друге, актин може з'єднуватися з міозиновими голівками, що приводить до утворення між тонкими й товстими нитками поперечних містків або спайок. Основою тонкої нитки є подвійна спіраль із двох ланцюгів фібрилярного актину, що містить близько 300 молекул глобулярного актину. Тропоміозин – білок, який також має форму подвійної спіралі, але ця спіраль утворена поліпептидними ланцюгами й за розміром набагато менше подвійної спіралі актину. Тропоміозин розташовується в подвійній спіралі фібрилярного актину. До нього приєднується тропонін і фіксує положення тропоміозину в актині, при

якому блокується взаємодія міозинових голівок з молекулами глобулярного актину тонких ниток (рис. 4).

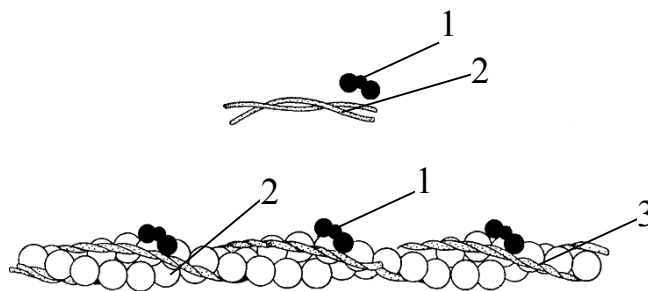


Рис. 4. Схема будови тонкої нитки:
1 – тропонін, 2 – тропоміозин, 3 – актинові нити

М'язове скорочення є складним механохімічним процесом, у ході якого відбувається перетворення хімічної енергії гідролітичного розщеплення АТФ у механічну роботу, яку виконують м'язи. Даний процес відбувається у такому порядку:

1. Джерелом енергії, необхідної для м'язової роботи є АТФ. Гідроліз АТФ, що супроводжується виділенням енергії, каталізується міозином, який має ферментативну активність.

2. Пусковим механізмом м'язового скорочення є підвищення концентрації іонів Ca^{2+} у саркоплазмі м'язових волокон, що викликає руховий нервовий імпульс.

3. Під час м'язового скорочення між товстими й тонкими нитками міофібрил виникають поперечні містки, або спайки.

4. Під час м'язового скорочення відбувається ковзання тонких ниток уздовж товстих, що приводить до вкорочення міофібрил і всього м'язового волокна в цілому.

В наш час молекулярний механізм м'язового скорочення пояснюють гіпотезою «веслового човна» Х. Хакслі. А саме, у м'язі, що перебуває в стані спокою, товсті й тонкі нитки міофібрил між собою не з'єднані, тому що ділянки зв'язування на молекулах актину закриті молекулами тропоміозину. М'язове скорочення відбувається під впливом рухового нервового імпульсу, що викликає значне підвищення концентрації іонів кальцію в саркоплазмі. Вони приєднуються до тропоніну – і змінюють його просторову форму (конформацію). Зміна конформації тропоніну призводить до зміщення молекул тропоміозину уздовж фібрилярного актину і звільненню ділянки актинових молекул, що призначена для зв'язування з міозиновими голівками. У результаті цього між міозином і актином виникає поперечний місток, розташований під кутом 90° .

Утворення зв'язку між актином і міозином супроводжується підвищенням АТФ-азної активності останнього, у результаті чого відбувається гідроліз АТФ:



За рахунок енергії, що виділяється при розщепленні АТФ, міозинова голівка, подібно шарніру або веслу човна, повертається і місток між товстими й тонкими нитками виявляється під кутом 45° , що приводить до ковзання м'язових ниток назустріч одна одній (рис. 5).

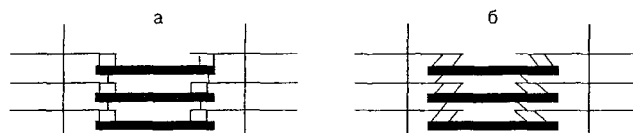


Рис. 5. Схема зміщення ниток міозину та актину під час м'язового скорочення:
а – містки між товстими й тонкими нитками (кут 90°); **б** – після повороту містки виявляються під кутом 45°

Зробивши поворот, містки між товстими та тонкими нитками розриваються. АТФ-азна активність міозину внаслідок цього різко знижується, і гідроліз АТФ припиняється. Але, якщо руховий нервовий імпульс продовжує надходити в м'яз і в саркоплазмі зберігається висока концентрація іонів кальцію, поперечні містки знову утворюються. У результаті багаторазового утворення, повороту й розриву містків м'яз може максимально скоротитися, при цьому тонкі нитки нашаровуються. Кожний цикл скорочення (утворення, поворот і розрив містка) вимагає витрати однієї молекули АТФ як джерела енергії, тому витрати АТФ на енергозабезпечення м'язової діяльності дуже великі. Розслаблення м'яза (релаксація) відбувається після припинення надходження рухового нервового імпульсу. При цьому концентрація іонів кальцію в саркоплазмі швидко знижується до вихідного рівня. Останнє викликає зміну конформації тропоніну, що приводить до фіксації молекул тропоміозину в певних ділянках актинових ниток і унеможливорює утворення поперечних містків між товстими і тонкими нитками. За рахунок пружних сил, що виникають при м'язовому скороченні в колагенових нитках, що оточують м'язове волокно, воно при розслабленні повертається у вихідне положення.

Таким чином, процес м'язового розслаблення, або релаксація, так само як і процес м'язового скорочення, здійснюється з використанням енергії гідролізу АТФ.

Практична частина

Завдання 1. Замалювати рис. 6 та підписати назви складових структурної організації м'язів.

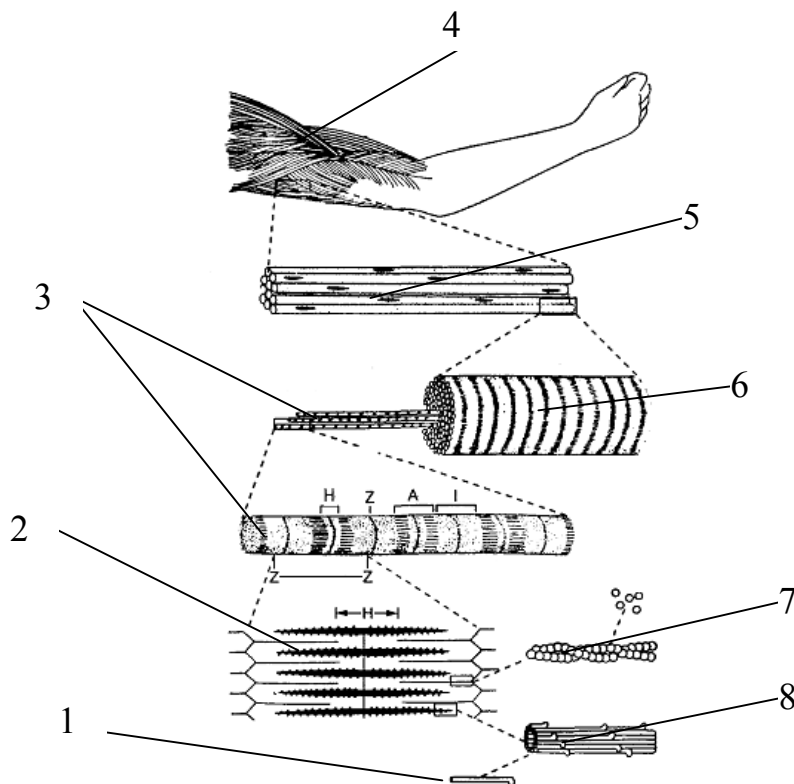


Рис. 6. Структурна організація м'язів

Завдання 2. Дати визначення поняттям:

I варіант: м'язи, саркоплазма, протофібрили, тонкі протофібрили, міозин, тропонін, скорочення м'язів, синапс.

II варіант: м'язові волокна, сарколема, міофібрили, товсті нитки, актин, тропоміозин, мітохондрії.

Завдання 3. Пояснити, яким чином електричні імпульси нервової системи перетворюються на хімічні реакції.

Завдання 4. Пояснити механізм та навести схему скорочення м'язового волокна.

Завдання 5. Провести порівняльний аналіз біохімічних характеристик білків та заповнити табл. 5.

Таблиця 5

Біохімічні характеристики	Білок	
	Міозин	Актин
Молекулярна маса		
Форма існування		
Тип протофібрил		
Розчинність у воді		
Функції в організмі		
Каталізуюча активність		

Контрольні запитання та задачі

1. Який вміст води, білків, ліпідів, вуглеводів та мінеральних солей у м'язовій тканині?
2. Які макроергічні сполуки містяться в м'язовій тканині, вказати їх концентрацію та локалізацію.
3. Пояснити структурну будову скорочувальних елементів м'язового волокна – міофібрил.
4. Які хімічні реакції забезпечують м'язове скорочення?
5. Які хімічні перетворення відбуваються при розслабленні м'язів?
6. Пояснити механізм «веслувального човна» – як основну гіпотезу скорочення м'язів.
7. Яким чином відбувається енергозабезпечення м'язового скорочення?
8. Які біохімічні зміни відбуваються в окремих органах, системах та тканинах під час м'язової роботи?
9. Іони Ca^{2+} приймають участь у біохімічних процесах при м'язовому скороченні. З якими білками взаємодіє Ca^{2+} при цьому:
 - а) тропоніном тонких ниток;
 - б) актином тонких ниток;
 - в) міозином товстих ниток;
 - г) тропоміозином тонких ниток?
10. Які іони приймають участь у м'язовому скороченні:
 - а) Ca^{2+} , Mg^{2+} , F^- ;
 - б) Na^+ , K^+ , Cl^- ;
 - в) Na^+ , Mg^{2+} , P^{5+} ;
 - г) Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ ?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РЕСИНТЕЗУ АТФ У М'ЯЗАХ

Мета роботи: ознайомитись з джерелами енергії в м'язах та вивчити шляхи ресинтезу АТФ при виконанні фізичних вправ різної потужності.

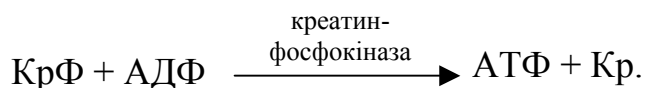
Теоретичні відомості

Безпосереднім джерелом енергії для м'язової діяльності є АТФ. Хімічна енергія в процесі м'язового скорочення перетворюється в механічну роботу

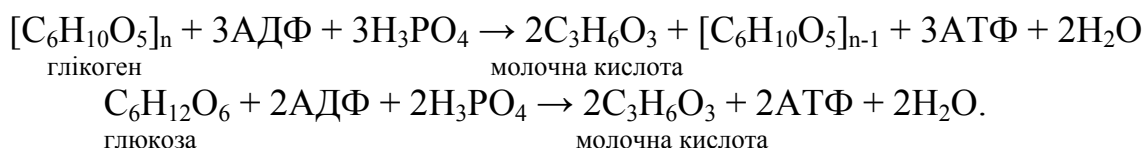
м'язів. Запаси АТФ у м'язах можуть забезпечити виконання інтенсивної роботи тільки за невеликий проміжок часу (0,5-1,5 с). Подальша робота виконується тому, що відбувається відновлення (ресинтез) АТФ. Ресинтез АТФ здійснюється під час реакцій, які відбуваються без участі кисню (анаеробний механізм), або за участю вдихуваного кисню (аеробний механізм). Кожний з механізмів має свої метаболічні та біоенергетичні особливості. В залежності від інтенсивності та тривалості виконання фізичних вправ застосовуються різні механізми ресинтезу АТФ [6].

До анаеробних шляхів ресинтезу АТФ можна віднести наступні.

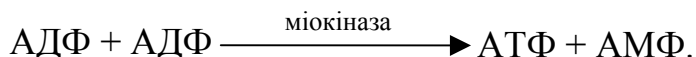
– Креатинфосфокіназний механізм, який забезпечує ресинтез АТФ за рахунок перефосфорилювання між креатинфосфатом с АДФ:



– Гліколітичний механізм, який забезпечує ресинтез АТФ в процесі ферментативного анаеробного розщеплення глікогену м'язів, або глюкози крові, який закінчується утворенням молочної кислоти:



– Міокіназний механізм, під час якого здійснюється ресинтез за рахунок реакції перефосфорилювання між двома молекулами АДФ за участю фермента міокінази:

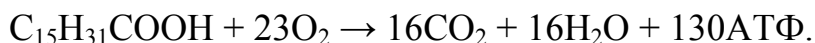


Аеробний механізм ресинтезу АТФ містить реакції окиснювального фосфорилювання, які відбуваються в мітохондріях.

– Окиснення глюкози:



– Окиснення ВЖК:



Кожен механізм має різні енергетичні можливості. Відносний їх внесок в енергетику різних вправ показано на рис. 7.

Максимальні вправи можуть бути виконані протягом 30 с (джерела енергії – запаси креатинфосфата й АТФ), субмаксимальні – 5 хвилин (анаеробний гліколіз), великої потужності – 50 хвилин (гліколіз та аеробне окиснення), помірної потужності – 5 годин (аеробне окиснення).

Критеріями оцінювання механізмів енергоутворення є максимальна потужність, швидкість розгортання, метаболічна ємкість та ефективність.

Максимальна потужність – це найбільша швидкість утворення АТФ у даному метаболічному процесі. Вона лімітує граничну інтенсивність роботи, яка виконується за рахунок даного механізму.

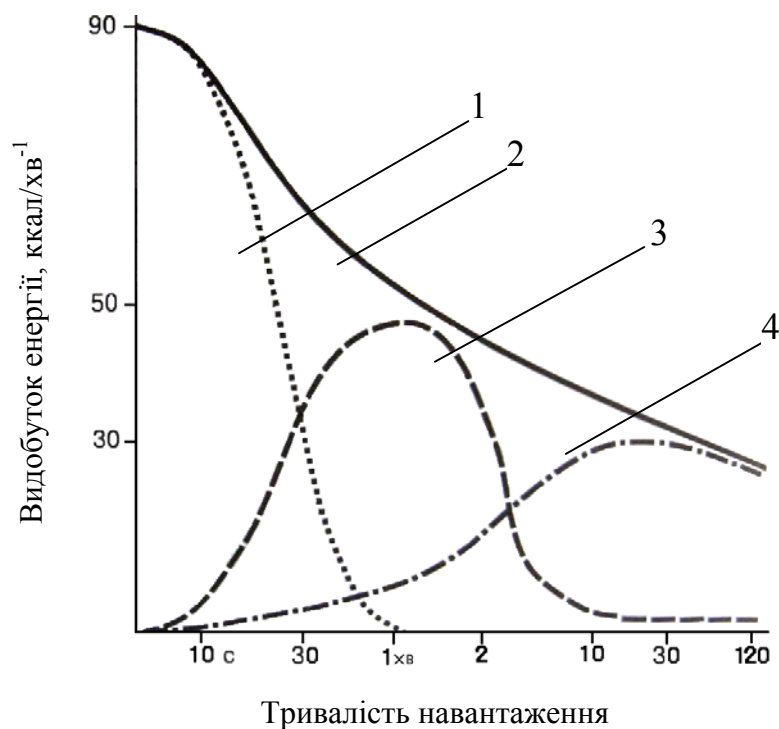


Рис. 7. Внесок механізмів анаеробного та аеробного енергоутворення в енергетику різних вправ:
1 – АТФ, КрФ; 2 – загальний видобуток енергії; 3 – анаеробний гліколіз;
4 – аеробне окиснення

Швидкість розгортання оцінюється часом досягнення максимальної потужності даного шляху ресинтезу АТФ від початку роботи.

Метаболічна ємкість відображує загальну кількість АТФ, яка одержується у даному механізмі ресинтеза. Ємкість лімітує об'єм виконуваної роботи.

Метаболічна ефективність – це та частина енергії, яка накопичується в макроергічних зв'язках АТФ. Вона визначає економічність виконаної роботи.

Практична частина

Виконання варіанту практичної роботи «Моделювання процесів ресинтезу АТФ у м'язах». Зробити висновок про значення вивчених процесів при різних механізмах енергоутворення та заповнити табл. 6. Провести порівняльний аналіз, який показує особливості механізмів енергоутворення при виконанні фізичних вправ різної потужності.

Таблиця 6

Критерії	Анаеробні механізми			Аеробний механізм
	КрФ	Міокіназний	Гліколітичний	Окисне фосфорилування
Потужність				
Ефективність				
КПД				
Ферменти				
Енергетичні субстрати				
Послідовність підключення при виконанні фізичних вправ (1,2,3,4)				

Контрольні запитання та задачі

1. Що розуміють під механізмами ресинтезу АТФ?
2. За якими критеріями оцінюють енергетичні можливості шляхів ресинтезу АТФ?
3. Як змінюється креатинфосфокіназний шлях ресинтезу АТФ у процесі роботи?
4. Навести ключові ферменти гліколітичного шляху ресинтезу АТФ та його енергетичні можливості?
5. Назвати основні енергетичні субстрати, реакції та енергетичний вихід аеробного механізму ресинтезу АТФ.
6. Чому аеробний шлях ресинтезу АТФ має невелику швидкість розгортання?
7. Навести послідовність підключення різних механізмів енергозабезпечення під час виконання м'язової роботи.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Для теоретичної підготовки

1. **Явоненко, О. Ф.** Біохімія. Підручник для студентів спеціальності «Фізична культура» педагогічних університетів [Текст] / О. Ф. Явоненко, Б. В. Яковенко. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2002. – 380 с.

2. **Волков, Н. И.** Биохимия мышечной деятельности [Текст] / Н. И. Волков, Э. Н. Несен, А. А. Осипенко, С. Н. Корсун. – К. : Олимпийская литература, 2000. – 503 с.

3. **Михайлов, С. С.** Спортивная биохимия: Учебник для вузов и колледжей физической культуры [Текст] / С. С. Михайлов. – 2-е изд., доп. – М. : Советский спорт, 2004. – 220 с.

Для підготовки до лабораторних робіт

4. **Шевряков, М. В.** Практикум з біологічної хімії [Текст] : навч.-метод. посіб. / М. В. Шевряков, Б. В. Яковенко, О. Ф. Явоненко. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2003. – 204 с.

5. **Копильчук, Г. П.** Біохімія [Текст] : навч. посібник / Г. П. Копильчук, О. М. Волощук, М. М. Марченко. – Чернівці : Рута, 2004. – 224 с.

6. **Мащенко, В. В.** Біохімія спорту [Текст]. Робоча навчальна програма та конспект лекцій / В. В. Мащенко. – Миколаїв : НУК, 2009. – 72 с.

7. **Мащенко, В. В.** Біохімія [Текст] : Робоча навчальна програма та конспект лекцій / В. В. Мащенко. – Миколаїв: НУК, 2007. – 52 с.

8. **Мащенко, В. В.** Методичні вказівки для підготовки до лабораторних робіт з курсу «Біохімія» (експериментальна частина) [Текст] / В. В. Мащенко, Н. В. Кулалаєва. – Миколаїв : НУК, 2011. – 35 с.

Для самостійної та реферативної роботи

9. **Меньшиков, В. В.** Биохимия [Текст] : учебник для институтов физической культуры / В. В. Меньшиков, Н. И. Волков. – М. : Физкультура и спорт, 1986. – 384 с.

10. **Цебржинський, О. І.** Біохімія опорно-рухового апарату та біохімія спорту (вибрані лекції) [Текст] / О. І. Цебржинський. – Полтава : АСМІ, 2005. – 72 с.

11. **Миронович, Л. М.** Біоорганічна хімія. Скорочений курс [Текст] : навч. посібник / Л. М. Миронович. – К. : Каравела, 2008. – 184 с.

12. **Волков, Н. И.** Теория и практика интервальной тренировки в спорте [Текст] / Н. И. Волков, А. В. Королев, М. Хосни. – М. : ВА им. Ф. Э. Дзержинского, 1995. – 196 с.

13. **Ермолаев, М. В.** Биологическая химия [Текст] / М. В. Ермолаев, А. Г. Ильичева. – М. : Медицина, 1990. – 263 с.

14. **Мохан, Р.** Биохимия мышечной деятельности и физической тренировки [Текст] / Р. Мохан, М. Глессон, Гринхафар. – К. : Олимпийская литература, 2001. – 285 с.

ЗМІСТ

<i>Лабораторна робота № 1. Обмін вуглеводів.....</i>	<i>3</i>
<i>Лабораторна робота № 2. Обмін та визначення продуктів розщеплення ліпідів.....</i>	<i>5</i>
<i>Лабораторна робота № 3. Ферментативний гідроліз та обмін білків...</i>	<i>8</i>
<i>Лабораторна робота № 4. Водно-сольовий обмін в організмі людини. Визначення мінеральних солей.....</i>	<i>11</i>
<i>Лабораторна робота № 5. Елементи біоенергетики.....</i>	<i>15</i>
<i>Лабораторна робота № 6. Визначення проміжних та кінцевих продуктів обміну вуглеводів.....</i>	<i>22</i>
<i>Лабораторна робота № 7. Визначення енергетичного балансу організму методом непрямой калориметрії.....</i>	<i>24</i>
<i>Лабораторна робота № 8. Біохімія м'язів і м'язового скорочення.....</i>	<i>27</i>
<i>Лабораторна робота № 9. Моделювання процесів ресинтезу АТФ у м'язах.....</i>	<i>32</i>
<i>Рекомендована література.....</i>	<i>36</i>