

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ  
імені Івана Боберського

КАФЕДРА АНАТОМІЇ ТА ФІЗІОЛОГІЇ  
“Нормальна фізіологія людини”

ЛЕКЦІЯ № 14

Тема лекції:

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ОБМІН. ТЕРМОРЕГУЛЯЦІЯ.  
ФІЗІОЛОГІЯ ВИДІЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

План.

1. Обмін речовин, основні етапи і загальні принципи регуляції.
2. Енергетичний обмін, методи дослідження.
3. Основний обмін та фактори, які впливають на його величину.
4. Фізіологічні основи харчування.
5. Терморегуляція (теплопродукція і тепловіддача).
6. Функції нирок. Будова нефрону. Механізм утворення і виділення сечі.
7. Регуляція сечоутворення та сечовиділення.

Тривалість лекції: 2 академічні години

Матеріальне забезпечення: мультимедійна презентація.

Склав: доц. Вовканич Л.С.

Затверджено на засіданні

кафедри анатомії і фізіології

"15" серпня 2024 р.

протокол № 1

Зав. кафедри Вовканич Л.С.

Львів – 2024

## 1. Обмін речовин, основні етапи і загальні принципи регуляції

Важливою властивістю усіх живих організмів є безперервний обмін енергії та речовин з оточуючим середовищем. Суть цього обміну полягає у надходженні в організм різноманітних, багатих потенціальною хімічною енергією речовин, які в організмі розщеплюються до більш простих, а вивільнена при цьому енергія забезпечує протікання фізіологічних процесів та виконання зовнішньої роботи. Окрім того, речовини, що надходять із зовнішнього середовища, використовуються в організмі для утворення його власних структурних компонентів, клітин, тканин, гормонів, ферментів і ін. Отже, обмін речовин (ОР) і енергії (ОЕ) - це сукупність фізичних та хімічних перетворень речовин і енергії в організмі, які забезпечують його життєдіяльність та взаємозв'язок із зовнішнім середовищем.

Білки, жири, вуглеводи та інші сполуки, які надходять з їжею, використовуються для відновлення структур організму та поновленню енергетичних витрат. Для підтримання процесів життєдіяльності обмін речовин забезпечує пластичні (оновлення структурних компонентів клітин) та енергетичні (забезпечення енергією процесів у організмі) потреби організму. Витрачені енергетичні ресурси постійно відновлюються за рахунок їжі.

В обміні речовин виділяють 2 процеси:

1. Анаболізм (асиміляція) - це сукупність процесів біосинтезу органічних сполук і структурних компонентів клітин. Цей процес забезпечує ріст, розвиток та безперервне поновлення багатих енергією сполук (АТФ).
2. Катаболізм (дисиміляція) - це сукупність процесів розщеплення складних молекул до кінцевих простих сполук із вивільненням їх потенціальної енергії у формі хімічних зв'язків макроергічних сполук (АТФ).

Забезпечення організму енергією здійснюється за рахунок анаеробного та аеробного катаболізму. В організмі людини в процесі аеробного катаболізму майже всі органічні сполуки та продукти анаеробного обміну повністю розщеплюються до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . При окисленні одного моля глюкози

до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  утворюється 25,5 молів АТФ (при анаеробному обміні - тільки 2 молі АТФ). В організмі АТФ відіграє основну роль акумулятора хімічної енергії.

Процеси анаболізму та катаболізму знаходяться в організмі в стані динамічної рівноваги. Стан рівноваги залежить від віку (перевага анаболізму у дітей і катаболізму у людей похилого віку), стану здоров'я, фізичних і психоемоційних навантажень.

Витрачені енергетичні ресурси повинні постійно відновлюватись за рахунок їжі. Людина одержує у складі їжі різні поживні сполуки (білки, жири, вуглеводи), мінеральні іони (натрій, калій, хлор, фтор, залізо, йод, фтор, магній та ін.), воду та віт аміни (А, В, С, Д, РР, К, Е та ін.)

Важливе значення у збалансованому харчуванні належить білкам. Білки, як відомо, складаються з амінокислот. Амінокислоти в організмі виступають основним джерелом синтезу *структурних білків, ферментів, гормонів білкової і пептидної природи*, та можуть відігравати роль *джерела енергії*. У людини на добу відбувається обмін 400 г білка. При цьому 1/3 білка втрачається і повинна поповнюватись надходженням амінокислот ззовні. При цьому частина амінокислот не може утворюватись в організмі людини і тому повинна надходити ззовні – *незамінні амінокислоти*. Кількість білка, який розпався в організмі, оцінюють за кількістю виведеного з організму із потом та сечею *азоту*, оскільки азот входить майже виключно до складу амінокислот. У випадку коли кількість азоту, що надійшла в організм, дорівнює кількості виведеного азоту, говорять про *азотисту рівновагу*. За умов перевищення розпаду білка над його синтезом, виявляється негативний азотистий баланс.

*Ліпіди* їжі відіграють важливу роль у підтриманні життєдіяльності організму. Ліпіди входять до складу *клітинних мембран*, виступають основним джерелом синтезу *стероїдних гормонів*, виконують функцію *енергозабезпечення* та інші. Основними компонентами їжі тваринного походження є нейтральні жири. Із ними в організм також надходять *незамінні*

*жирні кислоти* – линолева, ліноленова, арахідонова, об'єднані в групу віт аміна F, а також жиророзчинні віт аміни A, D, E, K. При використанні жирів у якості джерела енергії спершу відбувається їх гідроліз з утворенням вільних жирних кислот, які включаються у процес бета-окислення. В енергетичному відношенні окислення жирних кислот у два рази ефективніше, ніж окислення амінокислот і вуглеводів.

В організмі людини і тварин до 60% енергообміну залежить від перетворення вуглеводів, при цьому енергетичні потреби мозку забезпечуються майже виключно глюкозою. Окрім того, вуглеводи входять до складу складних клітинних структур (глікопротеїни, гліколіпіди і ін.). В організмі людини вуглеводи депонуються у формі запасів *глікогену* у печінці та м'язах.

Серед мінеральних елементів, необхідних організму, слід перш за все назвати *кисень, вуглець, водень та азот*. Ці елементи становлять 90% маси тіла людини. Ще 4% складають *макроелементи: кальцій, фосфор, натрій, сірка, калій, хлор, магній*. Вони необхідні для формування скелету, забезпечення осмотичного тиску рідин тіла, нормального проведення збудження, скорочення м'язів, енергетичного обміну. Необхідні організму також 15 *мікроелементів*, зокрема *залізо (гемоглобін), кобальт, мідь (цитохромоксидаза), цинк, хром, кремній, фтор, йод*. Переважно вони входять до складу ферментів, гормонів, вітамінів, виступають каталізаторами ряду процесів.

Вода надходить в організм людини і тварин у вільному виді чи зв'язана у складі харчових продуктів. В середньому доросла людина споживає 2,5 л води. Під час обміну в організмі утворюється ще приблизно 300 мл. води. Вода необхідна для підтримання осмотичності внутрішнього середовища організму, забезпечення процесів виділення, терморегуляції та ряду інших.

На початку минулого століття було встановлено, що для нормального функціонування організму людини необхідні віт аміни. Вони не утворюються в організмі людини або утворюються у недостатніх кількостях, тому повинні

надходити ззовні. Вітаміни належать до різних типів сполук і виконують роль каталізаторів у обміні речовин, найчастіше виступаючи складовими ферментних систем. Вони надходять в організм людини із їжею рослинного та тваринного походження, деякі синтезуються мікрофлорою кишечника. Вітаміни поділяють на дві групи: *жиропорозчинні* (А, D, Е, К) та *водорозчинні* (В, С, Р).

Слід зазначити, що в організмі процеси обміну білків, жирів та вуглеводів взаємозв'язані, у певних межах можливі їх взаємоперетворення. Це пояснюється тим, що у процесі обміну білків, жирів та вуглеводів утворюються кілька сполук, які є *спільними метаболічними речовинами*, які забезпечують взаємозв'язок між обміном вуглеводів, жирів і білків. Основним ключовим продуктом взаємодії білків, жирів і вуглеводів є ацетил-КоА. З допомогою цієї речовини обмін білків, жирів і вуглеводів об'єднується у кінцевий шлях окислення – цикл трикарбонових кислот, у якому вивільняється 2/3 усієї енергії організму. В процесі біологічного окислення звільнена енергія використовується переважно для синтезу АТФ (універсальне джерело енергії), необхідної в організмі для наступної механічної роботи, хімічного синтезу, оновлення клітинних структур, транспорту речовин, осмотичної, механічної та електричної роботи.

Обмін речовин (анаболізм та катаболізм) та накопичення енергії АТФ в основному здійснюється в клітинах. Саме клітини органів і тканин є тією ланкою, через яку здійснюється регуляція обміну речовин шляхом зміни швидкості біохімічних реакцій. Зміни швидкості біохімічних реакцій відбуваються завдяки зміні активності ферментів чи їх концентрації. Регуляція активності ферментів здійснюється різними способами. Регуляторами-модуляторами каталітичної активності ферментів часто є самі *метаболіти*. Цим методом здійснюється регуляція окремих ланок метаболічних перетворень у клітині. Загальна інтеграція метаболізму забезпечується, в основному, за допомогою *аденілатів*, які беруть участь у будь-яких метаболічних перетвореннях клітини.

Механізмом узгоднення загальних метаболічних потреб організму з потребами клітини є нервові та гормональні впливи на синтез та активність ключових клітинних ферментів. Гормони є найбільш важливим рівнем регуляції синтезу та активності ферментів через рецептори мембран клітин, аденілакциклазу та циклічний аденозинмонофосфат. Але в цілому організмі регуляція обміну речовин знаходиться під контролем нервової системи та її вищих відділів.

## 2. Енергетичний обмін, методи дослідження.

Діяльність організму супроводжується значними витратами енергії, величина яких залежить від ряду факторів, зокрема виду роботи, інтенсивності теплоутворення, стану ендокринних залоз та ін. Організм отримує енергію у формі потенціальної енергії хімічних зв'язків молекул білків, жирів і вуглеводів. Вивільнення енергії відбувається під час окислення цих речовин. Утворення енергії без участі кисню називається *анаеробним обміном*, а процеси утворення енергії з використанням молекулярного кисню – *аеробним обміном*. Накопичення енергії відбувається в основному у високоенергетичних зв'язках аденозинтрифосфорної кислоти (АТФ). Енергія АТФ використовується для здійснення в організмі хімічних, транспортних, електричних процесів, виконання механічної роботи. При виконанні будь-якої роботи частина енергії виділяється у формі тепла. Зокрема, під час м'язового скорочення лише 20% енергії використовується для механічної роботи, у той час як 80% розсіюється у формі тепла. Кількість тепла є об'єктивним показником енергетичних витрат організму і виражається в одиницях тепла – калоріях (Дж оулях, 1 кал = 4,19 Дж). Здатність різних речовин забезпечувати організм енергією, їх *енергетична цінність*, різна. Зокрема, при повному окисленні вуглеводів виділяється 4,1 ккал/г (17,1 кДж/г), білків - 4,1 ккал/г (17,1кДж/г), жирів - 9,3 ккал/г (38,9 кДж/г).

При цьому під час окислення різних речовин витрачається неодинакова

кількість кисню, та виділяється різна кількість вуглекислого газу. Для характеристики типу речовин, що окислюються, використовують дихальний коефіцієнт (ДК). ДК - це відношення об'єму виділеного CO<sub>2</sub> до об'єму спожитого O<sub>2</sub>. При окисленні глюкози ДК дорівнює 1,0; жирів - 0,7; білків - 0,8; при змішаному харчуванні 0,83-0,90. Знаючи дихальний коефіцієнт, можна розрахувати відносний внесок білків, жирів та вуглеводів у енергозабезпечення організму. Оскільки енергетична цінність цих сполук відома, можемо обчислити скільки ж енергії виділяється в організмі під час окислення. Отже, кожному ДК відповідає свій калоричний еквівалент кисню, тобто кількість енергії, що вивільняється під час окислення 1 л O<sub>2</sub>. Зокрема, при ДК 1 величина енергетичного еквіваленту становить 5,05 ккал/л (21,1 кДж/л), при ДК 0,8 – 4,48 ккал/л (18,8 кДж/л).

Особливо велике значення дослідження енергетичного обміну має при вирішенні багатьох питань фізіології (фізіологія спорту і праці) та патології людини.

Методи оцінки енергетичного обміну поділяються на прямі (вимірюванні кількості виділеного тепла) - *пряма калориметрія*, та непрямі (дослідження газообміну) - *непряма калориметрія*.

Метод прямої калориметрії вперше був застосований Лавуаз'є та Лапласом у 1788 р. і ґрунтується на вимірюванні кількості тепла, виділеного організмом. Для цього визначають температуру води, що протікає через теплоізолювану камеру, у якій знаходиться досліджуваний. Цей метод характеризується високою точністю, але через велику складність і громіздкість в наш час використовується лише для спеціальних досліджень.

Метод непрямої калориметрії заснований на вимірюванні кількості спожитого кисню з наступним перерахунком енерговитрат з використанням величин дихального коефіцієнту (ДК). При інтенсивних фізичних навантаженнях дихальний коефіцієнт підвищується. Це свідчить про те, що основним джерелом енергії є окислення вуглеводів. Після закінчення роботи ДК може бути більшим 1,0 (нагромадження у крові недоокислених продуктів

- молочної кислоти). В періоді відновлення після фізичних навантажень ДК зменшується (окислення молочної кислоти та її виділення з організму). Оскільки для кожної величини ДК відомий калоричний еквівалент кисню, то на основі вимірювання кількості використаного кисню можна визначити теплообмін організму. Спрощений метод непрямой калориметрії полягає тільки у визначенні об'єму використаного кисню та величини ДК (0,90 при змішаному харчуванні).

Кількість спожитого  $O_2$  можна визначити методом Холдена, за допомогою газоаналізатора типу "Спіроліт" або спірографа, метаболіграфа та інших методів.

### **3. Основний обмін та фактори, які впливають на його величину.**

Величина енергетичного обміну в організмі залежить від ряду факторів, зокрема від фізичної активності та зовнішніх умов. Основний обмін (ОО) - це мінімальний рівень енерговитрат в умовах повного фізичного та емоційного спокою. Він визначається в таких умовах: дослідження проводяться вранці, в лежачому положенні, натщесерце в стані психічного і фізичного спокою, в умовах температури комфорту ( $20-22^{\circ}C$ ). В такому стані енергія витрачається на роботу внутрішніх органів, дихальної системи, синтез речовин, функцій нервової системи, ендокринних залоз та інше. Для дорослої людини середнє значення величини ОО дорівнює 1 ккал/кг•год (4,19 кДж/кг•год), тобто для чоловіка масою 70 кг величина енерговитрат ОО складає близько 1700 ккал/добу (7100 кДж/добу). У здорових людей ОО може коливатись у межах 15%.

Величина ОО залежить від віку, зросту, маси тіла, статі, та інших факторів. Перевага в дитячому віці анаболічних процесів над катаболічними обумовлює більш високе значення ОО у дітей до 2-3 ккал/кг•год. У жінок ОО на 5% менший, ніж у чоловіків. У тренуваних спортсменів-стаєрів рівень основного обміну дещо знижений. Інтенсивність ОО також тісно зв'язана з розмірами поверхні тіла. Ще в кінці XIX століття німецький фізіолог



М.Рубнер зформулював закон поверхні тіла, згідно якого енергетичні витрати організму пропорційні величині поверхні тіла. Так, у чоловіків віком 20-40 років на 1 м<sup>2</sup> поверхні тіла виділяється 39-40 ккал/год, у жінок - 36-37 ккал/год. Але цей закон має лише значення для орієнтовних розрахунків затрат енергії.

Середні дані добре виявляються в таблицях Гарріса і Бенедікта, які складені статистичним шляхом на великій кількості точних визначень ОО у людей різної статі та маси тіла. Для кожної вікової групи людей встановлені стандартні величини ОО. Це дає можливість при необхідності дослідити величину ОО у людини і порівняти з показниками нормативними. Відхилення величини ОО від стандартної не більше, ніж на  $\pm 10\%$  вважається в межах норми.

Рівень основного обміну залежить від нервових та гормональних систем регуляції. Зокрема, роль нервової системи підтверджується зниженням ОО при блокаді нервово-м'язової передачі збудження. На ОО впливають гормони щитовидної залози. При гіперфункції ОО підвищується, а при гіпофункції - знижується.

Загальний енергетичний обмін. При фізичній роботі, після їди, при зміні пози тіла, емоційного стану, температури оточуючого середовища енерговитрати організму зростають.

Інтенсивність обмінних процесів збільшується при відхиленнях температури навколишнього середовища від комфортного рівня. Найбільше це проявляється при зниженні температури. Величина енергетичного обміну зростає від 1 до 8-10 ккал/кг/год. З підвищенням температури кількість утворюваного тепла дещо зменшується.

Після прийому їжі інтенсивність обміну речовин і витрати енергії зростають - специфічно-динамічний вплив їжі (до 12-18 год). В даному випадку енергія витрачається на сам процес травлення (секреція, моторика, всмоктування), та на активацію обмінних процесів продуктами травлення. Збільшення енерговитрат проявляється через 1 год. після прийому їжі і

досягає максимуму через 3 год. Воно найбільш виражено при прийомі білкової їжі, в середньому на 30%. При прийомі змішаної їжі зростають енерговитрати лише на 6-15%.

Зміна пози тіла, що супроводжується підвищенням тонуусу певних груп м'язів, також призводить до зростання енерговитрат організму. Проте найбільший приріст енерговитрат спостерігається при фізичних навантаженнях.

Регуляція в цілому організмі здійснюється за рахунок ендокринної та вегетативної нервової системи. Основними регуляторами є гормони щитовидної залози - тироксин і трийодотиронін, а також адреналін, які стимулюють обмінні процеси.

Особлива роль у регуляції енергообміну належить гіпоталамусу, через який реалізуються рефлекторні та ендокринні механізми. Можна виявити також умовно-рефлексне збільшення рівня енергообміну. Так, у спортсменів перед стартом, у робочих перед початком важкої фізичної роботи, у водолазів перед входом у воду енергообмін посилюється. Це свідчить про те, що рівень енерговитрат в організмі може змінюватись під впливом кори головного мозку.

#### **4. Фізіологічні основи харчування.**

Харчування - це процес засвоєння організмом речовин, необхідних для побудови і оновлення тканин його тіла, та для забезпечення необхідних енергетичних затрат. Харчування - це не тільки засіб підтримання життя, росту та розвитку організму, але й здоров'я, високої професійної і спортивної працездатності. Виявлений тісний зв'язок неправильного харчування з розвитком атеросклерозу, психічним станом, адаптаційними можливостями організму та рівням здоров'я в цілому.

Існують поняття *раціонального харчування, збалансованого харчування, адекватного харчування*. Раціональне харчування – достатнє у кількісному та повноцінне у якісному плані харчування. Збалансоване харчування лежить в

основі раціонального харчування. Ця концепція харчування враховує не тільки енергетичні потреби організму у білках, жирах, вуглеводах, але й складні взаємовідношення між енергетичними факторами, мікро- і макроелементами, вітамінами та незаміними (*ессеціальними*) факторами харчування. Налічується близько 60 харчових речовин, які вимагають збалансованості. Раціональне харчування забезпечує оптимальне надходження в організм пластичних, енергетичних і регулюючих речовин. Адекватне харчування (концепція А.Уголева) враховує крім енергетичних і пластичних компонентів їжі також баластні продукти та рівень мікрофлори кишечника.

Забезпечення енергетичних і пластичних потреб організму є критерієм для формування норм харчування, які враховують величини споживання поживних речовин обґрунтованих науковими дослідженнями.

Співвідношення білків, жирів і вуглеводів в харчовому раціоні 1:1:4-4,5 по вазі цих сполук. Ряд речовин може синтезуватися в організмі людини. Інші речовини в організмі людини не синтезуються, чи синтезуються у недостатній кількості, тому повинні надходити з їжею. До них належать *незамінні жирні кислоти, незамінні амінокислоти, всі макро- і мікроелементи, віт аміни*. Так, джерелом амінокислот є білки їжі, яких повинно надходити 1,0-1,5 г білка на 1 кг маси тіла дорослої людини за добу. При цьому слід враховувати амінокислотний склад білків. Відомо, що 10 із 20 амінокислот не синтезуються організмом, а тому повинні надходити в організм з їжею. Білки, що містять повний набір незамінних амінокислот, називаються *біологічно повноцінними білками*. Білки тваринного походження краще засвоюються організмом, вони повинні становити 50-60% добової норми білку (молоко, сир, яйця, м'ясо, риба). Тому в склад харчового раціону повинні включатися продукти тваринного і рослинного походження (нир. жирів рослинного походження не менше 30%). Дорослій людині необхідно в середньому 70-80 г жирів на добу. Мінімальна добова потреба у вуглеводах – 150 г, проте оптимальною є доза у 500 г. Натуральні продукти є джерелом

вітамінів, мінеральних іонів, ненасичених жирних кислот, незамінних амінокислот. Деякі речовини (вітамін К, вітаміни групи В, деякі незамінні амінокислоти) поступають в організм не тільки в складі їжі, але можуть синтезуватись в організмі в результаті життєдіяльності мікрофлори кишечника.

Протягом невеликого періоду часу жири та вуглеводи можуть замінити одне одного як енергетичні субстрати у відповідності з правилом ізодинамії (Рубнер). Білки є незамінними. Жири як енергетичні і пластичні (структура мембран клітин) речовини є також джерелом поліненасичених жирних кислот, фосфоліпідів, токоферолу, вітамінів А, Д та ін.). При обмеженні їх надходження в організм спостерігається підвищена втомлюваність, зниження фізичної і розумової працездатності, ослаблення імунітету. Потреба організму у різних компонентах їжі і їх співвідношеннях залежать від віку, статі, маси тіла, рівня фізичного і психоемоційного напруження.

В процесі напружених тренувань, особливо змагань, харчування є одним з основних факторів підвищення фізичної працездатності (спеціальної і загальної), боротьби з втомою, прискорення відновних процесів, впливу на адаптацію до екстремальних умов.

При складанні харчового раціону для спортсменів необхідно враховувати принцип збалансованого та адекватного харчування. Особлива увага приділяється незамінним поживним сполукам у складі їжі. У змагальному періоді зростає фізичне і емоційне напруження, посилюється виділення в кров гормонів, особливо катехоламінів. Енерговитрати збільшуються на 25-30% (у порівнянні з тренувальним періодом). Зростає в меню кількість поживних речовин (білків до 2,0-3,0 г/кг; жирів до 1,5-2,5 г/кг; вуглеводів до 8-15,0 г/кг). Їжа повинна бути різноманітною (включати продукти рослинного і тваринного походження, а також продукти підвищеної біологічної цінності), не обтяжливою, легкою для засвоєння.

В літературі описані особливості харчування спортсменів у гірських умовах, умовах теплового і холодного клімату, у бігунів на різні дистанції.

## **5. Терморегуляція (теплопродукція і тепловіддача)**

З залежності від особливостей теплообміну тваринні організми поділяють на холонокровні - *пойкілотермні* і теплокровні - *гомойотермні*. У перших температура тіла міняється відповідно до коливань температури зовнішнього середовища, у других зберігається стабільна температура тіла. Однак здатність гомойотермних протистояти холоду і теплу, зберігати температуру тіла має певні межі. При надто низькій або високій температурі середовища захисні терморегуляторні механізми виявляються недостатніми; температура тіла починає або падати - *гіпотермія*, або підніматися - *гіпертермія*.

У випадку гомойотермних організмів прийнято розрізняти 2 температури зони: зовнішню - "оболонку", і внутрішню - "ядро". Тільки "ядро" характеризується стабільною температурою. Сюди відноситься мозок, органи грудної та черевної порожнини, а також органи малого таза. Шкіра, скелетна мускулатура, кістки становлять "оболонку".

Температура тіла визначається рівновагою, балансом між *утворенням тепла* в результаті обміну речовин і *його виділенням* у навколишнє середовище. Сталість температури тіла підтримується автоматично: при зменшенні температури тіла посилюється теплопродукція, при збільшенні - тепловіддача. Теплопродукція залежить від підвищення інтенсивності обміну. Обмін речовин в організмі завжди супроводжується утворенням тепла. Основне джерело мобілізації енергії організму - окислення, частково гліколіз. Ці хімічні процеси носять екзотермічний характер: їх енергія частково акумулюється в молекулах АТФ, більша ж частина переходить в тепло.

В стані спокою інтенсивність теплопродукції розподіляється приблизно так: м'язи виробляють 20% теплоти, печінка – 20%, головний мозок – 18%, серце - 11%, нирки – 7%, шкіра - 5%.

Якщо температура навколишнього середовища низька, то посилюється теплопродукція. Першим шляхом підвищення енергопродукції є *довільна м'язова діяльність*. За рахунок такої діяльності енергетичний обмін може зростати в 10 і більше раз. Друга реакція підвищення теплопродукції - *холодова дрож*. Вона більш економна. Це мимовільна м'язова діяльність, енергетичний обмін може зростати лише в 2-4 рази, але все тепло зберігається в організмі, а не виділяється в виді тепла з поверхні тіла. Третім шляхом є *виділення в кров норадреналіну*, який діючи на скелетні м'язи, печінку, жирові тканини обумовлює зміну коефіцієнту корисної дії внутрішньоклітинних реакцій. Доля енергії, яка акумульована в АТФ, зменшується, а доля, що переходить безпосередньо в тепло, зростає.

Протилежним процесом до теплопродукції можна вважати тепловіддачу. Існують такі фізичні механізми тепловіддачі:

1. проведення;
2. випромінювання;
3. випаровування.

*Проведення* здійснюється шляхом *кондукції і конвекції*. Кондукція - це пряма передача тепла від теплішого тіла холоднішого за умов відсутності їх переміщення. Конвекція – теж пряма передача, але тіло і середовище переміщуються одне відносно одного (потік повітря, води).

*Випромінювання* характеризується віддачею тепла за рахунок інфрачервоних промінів, безпосередній контакт відсутній.

*Випаровування* - втрата енергії, яку виносять молекули, що відриваються від поверхні води. При переході в повітря 1 г води втрачається біля 0,58 ккал тепла.

Процеси тепловіддачі відбуваються в основному на поверхні шкіри і слизових оболонок дихальних шляхів.

Якщо температура повітря наближається до температури шкіри, тепловий градієнт зменшується, тепловіддача проведенням, конвекцією, та випромінюванням майже припиняється і головним шляхом тепловіддачі залишається випаровування. Проте якщо повітря насичене водяними парами, тепловтрати за рахунок цього механізму зменшуються або припиняються (при відносній вологості 100%). Втрати теплоти при потовиділенні відбуваються тільки тоді, коли піт випаровується, а не стікає з поверхні шкіри, тоді ніякого охолодження тіла не відбувається.

Якщо температура повітря є досить висока, то наступають зміни кровообігу в "оболонці", кров приливає до шкіри, внаслідок чого посилюється віддача тепла, що запобігає перегріву організму. Проте, якщо температура повітря перевищує температуру тіла настільки що іде перехід тепла ззовні - всередину та настає "теплова, задишка": потовиділення.

#### Регуляція теплообміну.

Стабільна температура тіла підтримується узгодженістю двох протилежно спрямованих процесів: теплопродукції і тепловіддачі. Якщо, наприклад тепловіддача стає більшою за теплопродукцію, температура тіла починає знижуватися і навпаки. Система регуляції температури, тіла включає терморцептори, нервові центри і ефектори. *Терморцептори* розміщуються в передній частині гіпоталамуса та шкірі, слизовій оболонці язика, шлунка, трахеї, бронхів. Терморцептори поділяються на теплові і холодкові, вони реагують на найменші зміни, до 1°C.

*Центр терморегуляції* складається з центру регуляції теплопродукції і центру регуляції тепловіддачі. Центр теплопродукції знаходиться в задній частині гіпоталамуса, а центр тепловіддачі - в його передній частині. При зниженні температури тіла активізується центр теплопродукції, який посиляє тонус симпатичній нервовій системі. Це призводить до звуження кровоносних судин шкіри, що зменшує тепловіддачу і зберігає температуру ядра тіла. Активність симпатичної системи посилює обмін речовин в тканинах а значить посилює теплопродукцію. При значному зниженні

температури тіла підвищується тонує скелетних м'язів. "Холодова дрож" посилює теплопродукцію.

Тепло впливає на центр тепловіддачі передньої частини гіпоталамуса, що посилює кровообіг шкіри і активує потовиділення.

На регуляцію температури тіла впливають *гормони*, зокрема *тироксин*, який посилює обмін речовин і теплоутворення; посилює окисні процеси, особливо в м'язах, що веде до утворення тепла, а звуження судин зменшує тепловіддачу.

При роботі в м'язах утворюється велика кількість тепла, а це призводить до збільшення температури, тепло надходить із кров'ю у різні частини тіла. При роботі помірної потужності, після підйому температура стабілізується на новому рівні. Хоч існує закономірність: чим інтенсивніша робота, тим вища температура. Серед реакцій тепловіддачі найбільш важлива роль при м'язовій роботі відіграє потовиділення.

Деякий підйом температури тіла вигідний при роботі: зростає збудливість, провідність, лабільність нервових центрів, знижується в'язкість м'язів. Тому головне завдання розминки - розігрівання м'язів.

Швидкість потовиділення при м'язовій роботі з постійною потужністю збільшується з підвищенням зовнішньої (шкірної) температури і в цьому випадку не пов'язана з температурою ядра тіла. При постійних зовнішніх умовах швидкість потовиділення знаходиться в прямому зв'язку з рівнем теплопродукції, але не залежить від шкірної температури. Це показує, що температури оболонки (шкіри) і ядра (гіпоталамуса) можуть незалежно впливати на швидкість потовиділення при м'язовій роботі. Так, наприклад, локальне нагрівання шкіри знижує порогову температуру ядра, при котрій починається активне потовиділення, а локальне охолодження шкіри має протилежний вплив.

Про важкість (потужність) виконуваної роботи терморегуляторний центр може інформуватись за допомогою декількох нервових механізмів - аферентної імпульсації від механорецепторів рухового апарату, іррадіації



коркових моторних імпульсів до терморегуляторного центру та ін. Вплив цих *нейрогенних факторів* в регуляції температури тіла, ймовірно проявляється лише на початку роботи і незначно в процесі виконання роботи. В регуляції температури тіла важливу роль, очевидно, відіграє "хімічний фактор", діючий під час роботи пропорційно швидкості аеробних метаболічних процесів.

Навантаження при тренуваннях та змаганнях у видах спорту, які вимагають витривалості, викликають значне підвищення температури ядра тіла - до 40°C, навіть у комфортних умовах середовища. Це є стимулом для розвитку адаптаційних реакцій до великого навантаження. Такі реакції серцево-судинної системи, потових залоз та інших органів і систем подібні до реакції у людей, що пройшли адаптацію до високих температур і великої вологості повітря. Внаслідок систематичних занять у спортсменів вдосконалюється терморегулювання: знижується теплоутворення, покращується здатність до тепловитрат внаслідок підвищеного потовиділення. Для тренуваних спортсменів властива висока чуттєвість реакції потовиділення на теплові подразники, рівномірний розподіл тепла по поверхні тіла. Відповідно, у спортсменів під час роботи при звичайній або високій температурі повітря, внутрішня температура і температура шкіри нижча, ніж у нетренованих людей, які піддаються таким самим навантаженням.

У процесі тренування витривалості в нейтральних умовах збільшується об'єм крові, що циркулює, вдосконалюється реакція перерозподілу кровообігу з зменшенням його через шкіру, що знижує температуру шкіри і підвищує проведення тепла від ядра до поверхні тіла.

Отже, у спортсменів в результаті регулярних інтенсивних тренувань витривалості навіть у нейтральних температурних умовах вдосконалюються певні фізіологічні механізми, характерні і для теплової а адаптації. Тому добре треновані спортсмени краще пристосовуються до роботи в жарких умовах, швидше акліматизуються. Хоча навіть дуже висока спортивна

тренуваність і тренування будь-якого плану в нейтральних умовах зовнішнього середовища не можуть повністю замінити специфічну теплову адаптацію, яка необхідна спортсмену, якщо він повинен виступати на змаганнях, в умовах підвищеної температури і вологості.

Теплових адаптаційних гранувань в нейтральних умовах недостатньо для ефективного виконання інтенсивної роботи в умовах жаркого клімату. При підготовці до змагань, які проходять в умовах підвищеної температури і вологості повітря, спортсмен повинен почати тренування в таких умовах за 7-12 днів до початку змагань. Якщо немає можливості тренуватись в таких умовах, то потрібно використовувати костюми, які перешкоджають віддачі тепла і обмежують виділення поту. Тренування в таких костюмах викликає ефект підвищеної теплової стійкості, хоч і менший, ніж тренування в жаркому кліматі.

## **6. Функції нирок. Будова нефрону. Механізм утворення і виділення сечі.**

Підтримання оптимальних відношень організму із середовищем і підтримання гомеостазу забезпечується як надходженням життєво необхідних речовин ззовні, так і виділенням кінцевих продуктів обміну речовин. *Видільні функції* здійснюються багатьма системами організму: *нирками, шлунково-кишковим трактом, органами зовнішнього дихання, потовими, сальними, слізними, молочними і іншими залозами.* Через *шлунково-кишковий тракт* із організму виводяться залишки травних соків, неперетравлені продукти, сполуки азоту (сечовина, сечова кислота.), солі, воду, різні лікарські речовини і токсичні сполуки (ртуть, вісмут, морфій, фарби, йодисті сполуки та ін.). Через органи зовнішнього дихання виділяються газоподібні речовини – вуглекислий газ, лікарські речовини, і ін. Проте головну роль у процесах обміну відіграють видільні функції *нирок та потових залоз.*

Основні функції нирок:

1. регуляція об'єму рідин внутрішнього середовища організму;
2. регуляція рН крові, кислотно-лужної рівноваги, концентрації іонів та осмотичного тиску в тканинах тіла;
3. видалення з організму кінцевих продуктів білкового обміну, чужорідних (в тому числі лікарських) речовин, надлишку органічних і неорганічних речовин;
4. секреція фізіологічно активних речовин, зокрема реніну, еритропоетину та інших, які впливають на тонус кровоносних судин, артеріальний тиск, утворення еритроцитів.

Функціональною одиницею нирок є *нефрон*. В нирках людини є понад 2 млн. нефронів. Кожний *нефрон* починається *мальпігієвим тільцем*, яке складається з *капсули Шумлянського-Боумена*, в якій знаходиться *судинний клубочок*. Капсула Шумлянського-Боумена має подвійну стінку, внутрішня стінка капсули тісно контактує із стінками капілярів судинного клубочка, утворюючи *базальну фільтруючу мембрану*. Між нею і зовнішньою стінкою капсули знаходиться порожнина, в яку надходить плазма, яка фільтрується через базальну фільтруючу мембрану із капілярів клубочка.

*Судинний клубочок* складається з складної *сітки артеріальних капілярів, приносної і виносної артеріоли*. Діаметр виносної артеріоли менший в порівнянні з приносною, що сприяє підтриманню в капілярах клубочків відносно високого кров'яного тиску (70 мм рт.ст.).

Зовнішня стінка капсули Шумлянського-Боумена безпосередньо переходить в *проксимальний звивистий каналець*. Це каналець 1 порядку. На деякій відстані від капсули проксимальний звивистий каналець випрямляється і утворює *петлю Генле*, яка переходить в *дистальний звивистий каналець* (2 порядку), який в свою чергу відкривається в *збиральну трубку*.

Крім таких нефронів, які називаються *корковими*, в нирці є ще і інші – *юстамедулярні нефрони*. Вони знаходяться в мозковому шарі нирок, виробляють ренін, який регулює кров'яний тиск.

За 1 хв. через нирок проходить близько 1200 мл крові, тобто 25% ХОК. Беручи до уваги те, що маса нирок становить лише 0,4% маси тіла, очевидним стає виключно високий рівень кровопостачання нирок. При цьому 90-93% всієї крові проходить через коркову речовину нирок. Слід зазначити, що цей кровообіг досить постійний і не змінюється при зміні артеріального тиску у два рази – від 90 до 190 мм рт. ст. Особливістю кровопостачання нирок є наявність подвійної сітки капілярів. Перша сітка капілярів утворює клубочки ниркових тілець, а друга – обплітає каналець нефрона. Капіляри збираються у дрібні вени, які утворюють ниркові вени, що впадають у нижню порожнисту вену.

Сечоутворення – це складний процес, який згідно з сучасної фільтраційно-реабсорбційної теорії складається з 2 фаз – *фільтрації* і *реабсорбції*. На сьогодні вважають також, що у виділенні окремих речовин задіяні процеси *секреції*.

Фільтрація. Завдяки високому тиску крові в судинному клубочку (60-70 мм рт. ст.) відбувається перехід рідини із просвіту кровоносних капілярів через *клубочковий фільтр* у порожнину капсули клубочка. *Клубочковий фільтр* складається з *ендотелію капілярів, базальної мембрани і внутрішнього листка капсули Шумлянського-Боумена*. Ендотелій капілярів не пропускає формені елементи крові і білки, проте через нього вільно проходять низькомолекулярні речовини, розчинені у плазмі крові. Наступні шари обмежують фільтрацію альбумінів плазми та інших речовин із великою молекулярною масою. В результаті у порожнину капсули Шумлянського-Боумена проходить практично безбілкова плазма крові із всіма розчиненими солями. Цей фільтрат називається *первинною сечею*. У людини з кожного літра плазми крові утворюється 190-200 мл первинної сечі, що складає 150-180 л за добу. У той же час кінцевий об'єм сечі становить 1-1,5 л, тобто переважна частина рідини реабсорбується у ниркових каналцях.

Реабсорбація. Первина сеча надходить в звивисті каналці і петлю Генле, де відбувається зворотне всмоктування, тобто *реабсорбція*. Основною

метою цього процесу є повернути у кров усі необхідні організму речовини. Так, у проксимальному каналці реабсорбується глюкоза, амінокислоти, вітаміни, невеликі кількості білка, пептиди, іони  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ . Одночасно з цими речовинами реабсорбується вода. У наступних відділах органічні речовини не всмоктуються, у них реабсорбуються лише іони і вода. Слід зазначити, що при високій концентрації речовини можуть реабсорбуватись не повністю і тому виводитись з організму. Наприклад, якщо концентрація глюкози більша 150-180 мг%, то в сечі є її надлишок, тобто спостерігається глюкозурія.

Механізми реабсорбції різних речовин неоднакові. Наприклад, глюкоза реабсорбується у котранспорті з  $Na^+$ , переміщення якого здійснюється за градієнтом концентрації, створеним  $Na, K$ -АТФазою. Молекули білків транспортуються за механізмом *піноцитозу*. Наявні також спеціальні системи транспорту амінокислот.

Найбільших енерговитрат вимагає реабсорбція іонів  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ , які профільтрувались у клубочках. При цьому транспорт натрію є первинно-активним, тобто на його забезпечення витрачається енергія АТФ. Основну роль у цьому процесі відіграє  $Na, K$ -АТФаза. При цьому у проксимальному каналці реабсорбується 2/3 натрію. У проксимальному відділі реабсорбуються й інші іони.

В результаті реабсорбції у проксимальному каналці більшості компонентів ультрафільтрату та води об'єм первинної сечі різко зменшується і у початковий відділ петлі Генле надходить лише близько 1/3 первинного фільтрату. Тут також тривають процеси всмоктування. Зокрема, у ділянці петлі Генле всмоктується до 25% натрію, а у дистальному відділі каналця – близько 9%. Всмоктування тут відбувається проти високих концентраційних градієнтів.

Кінцеві продукти обміну білків - сечовина, сечова кислота, креатинін, аміан, сульфати, лікарські речовини і інші не реабсорбуються і виводяться із сечею.

Секреція. Секреція прискорює видалення нирками ряду чужорідних речовин, кінцевих продуктів обміну, іонів. Зокрема, секретуються такі органічні кислоти як пеніцилін і сечова кислота, органічні основи – холін, гуанідин та неорганічні іони – калій. Секреція органічних кислот і основ відбувається у проксимальному сегменті нефрону, а секреція калію – у клітинах дистального звивистого каналця і збірних трубок. Секреторна функція полягає в тому, що деякі шкідливі речовини, які не проходять через "сито", виводяться з організму внаслідок секреції.

## **7. Регуляція сечоутворення та сечовиділення.**

Процеси сечоутворення в організмі людини регулюються з допомогою нервових та гуморальних механізмів. Ця регуляція спрямована на підтримання постійності іонного складу і об'єму міжклітинної рідини. Зокрема, осмотичність внутрішнього середовища може зростати при недостатньому споживанні води чи надлишковій її втраті (напр. з потом). У цій ситуації відбувається рефлекторна та гуморальна регуляція діяльності нирки, спрямована на затримку води в організмі. При цьому аферентні впливи надходять у ЦНС від *осморецепторів*, розміщених у ділянці сонної артерії та гіпоталамусі. Вони реагують переважно на зміну концентрації натрію. Окрім того, інтенсивність сечовиділення регулюється за участю *волюморецепторів*, які контролюють об'єм позаклітинної рідини. Рефлекторні впливи на процес сечоутворення проходять по симпатичних і парасимпатичних нервах. Больові подразнення що надходять через екстра- чи інтерорецептори зменшують або зовсім припиняють утворення первинної сечі. Цей ефект можна відтворити також умовно-рефлекторним шляхом. Показано також, що багатократне введення в організм тварини води у поєднанні з умовним подразником призводить до утворення умовних рефлексів по стимуляції виділення сечі.

Гуморальна регуляція здійснюється гормоном наднирників - *альдостероном* і *антидіуретичним гормоном (вазопресином)* гіпофіза. Слід

зазначити, що адреналін та норадреналін також стимулюють виділення альдостерону. Під дією альдостерона посилюються процеси зворотного всмоктування  $\text{Na}^+$  і одночасно зменшується реабсорбція  $\text{K}^+$ . При цьому виникає затримка натрію та води в організмі. *Антидіуретичний гормон* сприяє підвищенню проникності стінки петлі нефрона, а також стінок збиральних каналців. Це призводить до затримки води в організмі. На сечовиділення впливає і *тироксин*, який стимулює його, пригнічуючи реабсорбцію води в каналцях нефронів. Регулюється також процес виділення із сечею кальцію. Так, гормон паращитоподібних залоз *паратгормон* посилює його зворотне всмоктування у ниркових каналцях, у той час як *тиреокальцитонін* посилює виділення кальцію з сечею.

#### Виділення сечі.

Кінцева сеча по збиральних трубочках надходить в *ниркові миски*, *сечоводи* і *сечовий міхур*. Коли в сечовому міхурі збирається 250-300 мл сечі, тиск в ньому досягає 15-16 см. водн. ст. Рецептори стінок міхура подразнюються і збудження надходить по аферентних шляхах в куприковий відділ спинного мозку, де розміщений центр мимовільно-рефлекторного сечовиділення. Центри спинного мозку знаходяться під контролем рефлекторних центрів моста, гіпоталамуса та великих півкуль. Еферентна іннервація сечового міхура здійснюється по симпатичних і парасимпатичних волокнах. Імпульси, що надходять по *симпатичних* волокнах із ділянки верхніх поперекових сегментів, розслабляють м'язи міхура. Це сприяє заповненню міхура сечею і утримання її. При надходженні імпульсу по *парасимпатичних* волокнах від 2-4 куприкових сегментів відбувається скорочення гладкої мускулатури стінки сечового міхура, сеча витискається з міхура і виводиться назовні. При цьому відбувається розслаблення внутрішнього гладком'язового сфінктера сечового міхура та розслаблення зовнішнього сфінктера, побудованого із посмугованої м'язової тканини. Зовнішній сфінктер іннервують волокна соромітного нерва, що надходять із середніх куприкових сегментах.

Тривала фізична робота призводить до зменшення кровообігу внутрішніх органів, різкого зниження тиску в капілярах судинних клубочків нирок, а це призводить до зменшення або навіть припинення сечовиділення. Недостатня діяльність нирок компенсується посиленою роботою потових залоз, що одночасно посилює тепловіддачу. За умов анаеробної роботи концентрація молочної кислоти у сечі може досягати 0,22-0,24%, у той час як за аеробної роботи вона не перевищує 0,05-0,06%. При цьому виведенню молочної кислоти сприяє посилена робота потових залоз. За умов фізичних та психоемоційних навантажень у сечі може з'являтися глюкоза та білок.

Видільна функція нирок може доповнюватись видільними процесами, що відбуваються і потових залозах. Піт містить 97-99% води, солі (хлориди, фосфати, сульфати), ряд органічних сполук (аміак, сечовина, креатинін, сечова та молочна кислота). Їх робота взаємодоповнююча та часом взаємозмінна. Одним із таких випадків є інтенсивна фізична робота. Розрізняють два типи потовиділення – *термічне* та *емоціональне*. Термічне потовиділення спостерігається по всій поверхні тіла, за винятком долонь та підошовної сторони стопи. Психологічне – на долонях, підошовній стороні стопи, у підпаховій ямці. Причиною термічного потовиділення є підвищення температури оточуючого середовища чи температури тіла внаслідок фізичної роботи. Психологічне потовиділення виникає в результаті емоційних переживань, розумового напруження. Потовиділення, що виникає *при фізичній роботі*, поєднує у собі термічний (внаслідок підвищення теплопродукції при м'язовій роботі) та психічний (емоційні зміни, викликані цією роботою) компоненти.

Хоча потовиділення є постійним процесом, проте в умовах спокою та комфортної температури інтенсивність потовиділення досить низька і становить 500-1000 мл за добу. В умовах підвищення температури оточуючого середовища, м'язової роботи, емоційного напруження інтенсивність потовиділення значно зростає. Так, у чоловіків під час руху із швидкістю 5 км/год із вантажем 10 кг за температури повітря 32-34°C за



годину виділяється 1056-1787 г поту. Під час марафонського бігу швидкість потовиділення може досягати 1200-1500 мл/год. Загальне потовиділення за добу в умовах підвищеної температури може досягати 10 л за добу. Під час забігу марафонці можуть втрачати до 6 л води з потом, втрачаючи 13-14% води організму.

Регуляція потовиділення здійснюється нервовим та гуморальним шляхом. Іннервуються потові залози нервами симпатичної нервової системи, закінчення яких, проте, виділяється як медіатор ацетилхолін.

### Література

1. Вовканич Л.С. Довідник для студентів із дисципліни «Нормальна фізіологія людини» / Л.С.Вовканич, Д.І.Бергтраум. – Львів : ЛДУФК, 2018. – 32 с.
2. Вовканич Л.С. Фізіологічні основи фізичного виховання і спорту: навч. посібник для перепідготовки спеціалістів ОКР "бакалавр": у 2 ч. / Вовканич Л. С., Бергтраум Д. І. – Л.: ЛДУФК, 2011. – Ч. 1. – 344 с. Режим доступу: <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/10059>
3. Ганонг В.Ф. Фізіологія людини: підручник / Переклад з англ. Наук. ред.. перекладу М. Гжегоцький, В. Шевчук, О. Заячківська. – Львів: БаК, 2002. – 784 с.
4. Гжегоцький М.Р. Фізіологія людини / Гжегоцький М.Р., Філімонов В.І., Петришин Ю.С., Мисаковець О.Г. – К.: Книга плюс, 2005. – 494 с.
5. Клінічна фізіологія [Текст] : підруч. для студ. вищ. мед. навч. закл. IV рівня акредитації / В. І. Філімонов. - К. : Медицина, 2013. – 735 с.
6. Коритко З.І. Загальна фізіологія / Коритко З.І., Голубій Є.М. – Львів: 2002. – 172 с.
7. Кучеров І.С. Фізіологія людини і тварин. К. Вища школа.- 1991. – С.3-33.

8. Медична фізіологія за Гайтоном і Голлом: 14-е видання: у 2 томах. Том 1. / Джон Е. Голл, Майкл Е. Голл. – К: Медицина, 2022. – 648 с.
9. Медична фізіологія за Гайтоном і Голлом: 14-е видання: у 2 томах. Том 2. / Джон Е. Голл, Майкл Е. Голл. – К: Медицина, 2022. – 584 с.
10. Нормальна фізіологія / Під. ред. В. І. Філімонова. – К.: Здоров'я, 1994. – 608 с.
11. Фекета В.П. Курс лекцій з нормальної фізіології / В.П.Фекета. – Ужгород: Гражда, 2006. – 296 с.
12. Фізіологія [Текст] : підруч. для студентів вищ. мед. навч. закл. IV рівня акредитації / [В. Г. Шевчук та ін.] ; за ред. чл.-кор. НАПН України, проф. В. Г. Шевчука. - Вид. 2-ге, випр. і допов. - Вінниця : Нова Книга, 2015. – 447 с
13. Фізіологія людини : навч. посіб. – Вид. 2-ге, доп. / Яремко Є. О., Вовканич Л. С., Бергтраум Д. І. [та ін.]. – Л. : ЛДУФК, 2013. – 208 с. Режим доступу: <http://repository.ldufk.edu.ua/handle/34606048/9261>
14. Фізіологія людини і тварин (фізіологія нервової, м'язової і сенсорних систем) / М.Ю. Клевець, В.В.Манько, М.О. Гальків та ін. – Л.: ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 326 с.
15. Фізіологія людини: підручник / В.І. Філімонов, 4-е видання – К: Медицина, 2021, – 448 с.
16. Фізіологія: підручник для студ. вищ. мед. навч. закладів / В.Г.Шевчук, В.М.Мороз, С.М.Белан [та ін..] ; за ред.. В.Г.Шевчука. – Вінниця: Нова книга, 2012. – 448 с.
17. Чайченко Г.М. Фізіологія людини і тварин / Чайченко Г.М., Цибенко В.О, Сокур В.Д. – К: Вища школа, 2003. – 463 с.