

РОБОЧИЙ ЗОШИТ
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З БІОФІЗИКИ



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ФРАНКА
КАФЕДРА ЗООЛОГІЇ, БІОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ОХОРОНИ
ПРИРОДИ**

**РОБОЧИЙ ЗОШИТ
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З БІОФІЗИКИ**

для студентів спеціальності 091 Біологія
природничого факультету

Укладачі:
Т.В. Єрмошина
І.О. Першко
Л.А. Васільєва
О.А. Сорочинська

Житомир
Вид-во ЖДУ імені Івана Франка
2020

УДК 577.3
ББК 28.071
Р 581

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Житомирського державного університету імені Івана Франка від 26 червня 2020 року, протокол №8.

Рецензенти: **Пінкіна Т.В.** – кандидат біологічних наук, доцент кафедри біоресурсів, аквакультури та природничих наук Поліського національного університету
Болух В.А. – кандидат фізико-математичних наук, викладач вищої кваліфікаційної категорії, заступник директора з навчальної роботи Житомирського базового фахового фармацевтичного коледжу

Р581 Робочий зошит для лабораторних робіт з біофізики (для студентів спеціальності 091 Біологія природничого факультету) / Укладачі: Ермошина Т.В., Першко І.О., Васільєва Л.А., Сорочинська О.А. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2020. – 39 с.

Робочий зошит для лабораторних робіт з біофізики містить основні теми, необхідні для початкового розгляду фізичних процесів та механізмів, що складають основу життєдіяльності живих організмів; для вивчення та застосування сучасних фізичних методів та приладів у дослідженні цих процесів. Робочий зошит призначений для контролю знань під час вивчення курсу «Біофізика» у вищому навчальному закладі. Завдання до кожної теми складено відповідно до програми курсу «Біофізика». Кожне заняття містить список термінів до теми, теоретичні питання, теоретичні відомості, порівняльні таблиці, ситуаційні задачі, завдання для самостійної роботи. Цей робочий зошит можна використати під час лабораторного заняття, на етапі закріплення і систематизації знань та під час перевірки домашнього завдання. Робота студентів з зошитом сприяє кращому розумінню та засвоєнню матеріалу з даної дисципліни.

Рекомендовано для студентів вищих навчальних закладів освіти спеціальності 091 Біологія та вчителів-біологів загальноосвітніх шкіл.

УДК 577.3
ББК 28.071

© Ермошина Т.В., Першко І.О., Васільєва Л.А., Сорочинська О.А., 2020

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
Лабораторне заняття №1. ТЕМА: <i>Біофізика як наука про фізику біологічних систем ...</i>	5
Лабораторне заняття №2. ТЕМА: <i>Термодинаміка біофізичних процесів</i>	8
Лабораторне заняття №3–4. ТЕМА: <i>Молекулярна біофізика</i>	14
Лабораторне заняття №5. ТЕМА: <i>Біофізика клітин</i>	19
Лабораторне заняття №6. ТЕМА: <i>Біофізичні процеси у клітині. Фруктово-овочева батареяка</i>	21
Лабораторне заняття №7–8. ТЕМА: <i>Біофізика мембранних процесів. Проникність біологічних мембран</i>	24
Лабораторне заняття №9. ТЕМА: <i>Біомеханіка</i>	27
Лабораторне заняття №10. ТЕМА: <i>Фізичні основи біореології та гемодинаміки</i>	30
Лабораторне заняття №11–12. ТЕМА: <i>Основи біоакустики та фотобіології</i>	35
<i>Індивідуальне або групове завдання на тему «Фізичні методи аналізу»</i>	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	39

ПЕРЕДМОВА

Біофізика – це розділ біологічної науки, який вивчає фізичні явища, що відбуваються на різних рівнях організації життя. Тому виділяють різні напрямки досліджень у біофізиці: молекулярна біофізика, біофізика клітини, біофізика складних систем, теоретична та прикладна біофізика тощо.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є розуміння живої природи через фізичні та фізико-хімічні явища формування, життєдіяльності, відтворення життя на всіх рівнях, починаючи з молекул, клітин, органів та тканин, закінчуючи організмами та системами біосфери і ноосфери в цілому.

Під час вивчення дисципліни «Біофізика» розглядаються такі питання як термодинаміка біологічних процесів, молекулярна, клітинна біофізика, механізми електрогенезу. Надаються знання про біофізичні механізми м'язової та нем'язової форм рухливості, трансформацію енергії в мембранах мітохондрій та пластид, біофізику сенсорних і складних систем, радіаційну біофізику. Задачами курсу є засвоєння основних принципів теоретичних положень сучасної біофізики; пояснення взаємозв'язку фізичного і біологічного аспектів функціонування живих систем, опанування біофізичних методів дослідження. Особлива увага приділяється питанням регуляції клітинних процесів, клітинної сигналізації, а також молекулярним і клітинним механізмам виникнення патологічних станів, їх детекції і корекції.

Метою дисципліни «Біофізика» є опанування здобувачами знань про сучасні теоретичні основи фізики біологічних процесів та елементарні експериментальні навички у сфері біофізичних досліджень; формування професійних компетентностей і наукового світогляду майбутніх біологів, їх здатності до аналізу будови, функцій, процесів життєдіяльності; опанування фундаментальних понять і логічних концептуальних схем, характерних для біології та фізики.

Основними завданнями вивчення навчальної дисципліни «Біофізика» є: засвоєння здобувачами основних принципів і теоретичних положень сучасної біофізики; пояснення взаємозв'язку фізичного і біологічного аспектів функціонування живих систем; вивчення біологічних проблем, пов'язаних з фізичними та фізико-хімічними механізмами взаємодій, що лежать в основі біологічних процесів; дослідження механізмів трансформації енергії в біологічних системах, регулювання та самоорганізації складних біологічних систем; опанування біофізичних методів дослідження.

Дисципліна «Біофізика» досить складна і багатогранна. Через те, що «Біофізика» знаходиться на межі різних дисциплін її викладання потребує залучення не лише матеріалів з різних розділів біології, але й широкого використання сучасних методів з різних розділів фізики, хімії, математики, фізичної хімії. Під час опанування здобувач повинен вміти самостійно застосовувати знання з цитології, біохімії, молекулярної біології, фізіології людини.

У робочому зошиті для лабораторних робіт розміщено список термінів до тем, теоретичні відомості з тем, порівняльні таблиці, ситуаційні задачі, інструкції до практичних робіт, завдання для самостійної роботи, контрольні питання з тем та список використаної літератури.

Робочий зошит розроблено відповідно до програми курсу «Біофізика» для студентів-біологів. Він також буде корисний магістрантам, учителям біології та іншим, хто цікавиться сучасною біологічною наукою.

ТЕМА: *Біофізика як наука про фізику біологічних систем*

Мета: сформувані уявлення про біофізику як науку про фізичні та фізико-хімічні процеси і явища у живих системах; розглянути основні етапи розвитку біофізики, її завдання; ознайомитися із основними біофізичними методами.

Теоретичні питання:

1. Визначення біофізики як науки.
2. Становлення та розвиток біофізики як науки.
3. Завдання та розділи біофізики.
4. Методи біофізичних досліджень.
5. Перспективи біофізичних досліджень.

Визначити основні поняття:

Біологічна фізика, біологічна система, гідродинаміка, механіка, електрика, аеродинаміка, термодинаміка, фазові перебудови, молекулярна біофізика, біофізика клітини, біофізика органів чуття, біофізика складних систем, теоретична біофізика, математична біофізика, прикладна біофізика, математичне моделювання, круговий дихроїзм, електрофорез, лазерні щипці, центрифугування, ультрацентрифугування, мікроскопія, спектроскопія, рентгеноструктурний аналіз, спектральний аналіз, колонкова хроматографія.

Практична робота

Система одиниць вимірювання. Обчислення похибок. Методи вимірювання лінійних розмірів, ваги та маси

Обладнання: лінійка, штангенциркуль, технічні ваги, торзійні ваги, електронні ваги.

Обґрунтування теми: повсякденно нам доводиться мати справу зі всілякими вимірюваннями. Такі величини, як довжина, площа, об'єм, час, вага зустрічаються на кожному кроці й відомі людині з давніх часів. Без них неможливими були б торгівля, будівництво, розподіл землі тощо. Особливо велике значення вимірювання мають у техніці та науковому досліді. Такі науки, як механіка, фізика, стали називатися точними саме тому, що завдяки вимірюванням отримали можливість установлювати кількісні співвідношення, які відбивають об'єктивні закони природи. Саме цьому біофізика, яка є наукою, що використовує фізичні методи досліджень при вивченні біологічних об'єктів, не може обійтись без вимірювань.

Мета заняття: вивчити основні та похідні одиниці міжнародної системи одиниць (SI), ознайомитись з походженням та аналізом похибок, які виникають у процесі вимірювання, опанувати методику вимірювання деяких величин (лінійні розміри, вага, маса).

Теоретичні відомості

a) Міжнародна система одиниць (SI) – система одиниць фізичних величин, сучасна форма метричної системи, збудована на базі семи основних одиниць.. Виміряти будь-яку величину – це значить знайти співвідношення цієї величини з відповідною одиницею виміру. Виникає питання, з яких міркувань потрібно вибирати кількість і розмір одиниць виміру? Система фізичних величин може бути описана цілком визначеною кількістю рівнянь зв'язку, а сукупність одиниць, в яких виражені величини, що входять у ці рівняння, утворюють відповідну систему одиниць.

Очевидно, що при побудові тієї чи іншої системи одиниць, деякі з них слід знати заздалегідь, а решту можна отримати, виходячи з рівнянь зв'язку. Відповідно цьому розрізняють основні та похідні одиниці виміру. Так, у системі SI виявляється, що семи основних та двох допоміжних одиниць виміру достатньо для побудови всієї кількості одиниць виміру фізичних величин, яких налічується декілька сотень. Перелічимо ці одиниці:

- одиниця довжини – метр (м),
- одиниця часу – секунда (с),
- одиниця маси – кілограм (кг),
- одиниця температури – градус Кельвіна (К),
- одиниця сили струму – Ампер (А),
- одиниця кількості речовини – моль,
- одиниця сили світла – кандела (кд).

Допоміжні одиниці – одиниці плоского та тілесного кута – радіан та стерadian.

б) *Прямі та побічні вимірювання.* При прямому вимірюванні результат отримується безпосередньо при порівнянні самої величини з одиницею виміру. Але прямі вимірювання не завжди можливі або недостатньо точні. У цих випадках застосовують побічні вимірювання – коли величину знаходять по відомій залежності між нею й величинами, що вимірюються безпосередньо.

в) *Похибки вимірювання.* Кожне вимірювання неминуче пов'язане з його похибками. Саме тому при вимірюванні завжди необхідно зазначати його точність. Для цього разом з отриманим результатом приводять похибку вимірювання. Наприклад, довжина предмета становить 28 ± 1 мм. Залежно від джерела похибок вимірювання розрізняють методичні похибки, пов'язані з недосконалістю метода вимірювання, та інструментальні, зумовлені недосконалістю технічних засобів, що використовуються при вимірюванні. Крім того, за характером прояву розрізняють систематичні похибки, які залишаються незмінними при вимірюванні, та випадкові, які з'являються випадково, за рахунок неконтрольованих коливань параметрів, які впливають на величину, що вимірюється. Аналіз випадкових похибок проводиться методами математичної статистики. Щодо систематичних похибок, то вони не підлягають подібному аналізу.

Завдання 1. *Вимірювання лінійних розмірів тіл за допомогою штангенциркуля.*

- виміряти штангенциркулем висоту циліндра (H) – довжину кістки;
- виміряти діаметр циліндра (D) – товщину кістки;
- виміри зробити три рази і дані записати в таблицю;
- обчислити об'єм тіла (V):

$$V_{\text{тіла}} = \pi \cdot R^2 \cdot H, \quad \text{де}$$

R – радіус основи, $\pi = 3,1415$.

Результати занести до таблиці:

№ п/п	Кістка (стегно голуба)			Кістка (гомілка голуба)		
	H , мм	D , мм	R , мм	H , мм	D , мм	R , мм
1						
2						
3						
M						
m						
$V_{\text{тіла}}$						

- обчислити похибку до середнього:

$$M = \frac{\sum x}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (M - x)^2}{n - 1}}, \quad \text{де}$$

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

M – середнє арифметичне,
 x – варіанти (виміри),
 Σ – сума варіантів (вимірів),
 n – кількість варіантів (вимірів),
 σ – середнє квадратичне,
 m – похибка до середнього.

Висновок: _____

Завдання 2. Визначити масу тіла на технічних, електронних та торзійних вагах.

Методика зважування на торзійних вагах:

- 1) встановити терези по рівню;
- 2) поставити аретир у положення «відкрито»;
- 3) вказівну стрілку перемістити в нульове положення шкали циферблата, при цьому покажчик повинен співпадати з контрольною рисою рівноваг;
- 4) поставити аретир у положення «закрито»;
- 5) покласти тіло, яке зважується, у чашку терезів чи підвісити його безпосередньо до гачка;
- 6) поставити аретир у положення «відкрито»;
- 7) перемістити вказівну стрілку, поки покажчик співпаде з контрольною рисою рівноваги;
- 8) зафіксувати вагу тіла й поставити аретир у положення «закрито».

Результати вимірювань занести до таблиці:

Кістка	Вага на технічних вагах, г	Вага на електронних вагах, г	Вага на торзійних вагах, мг

Самостійна робота

Заповнити таблицю «Основні методи біофізичних досліджень».

Метод біофізичних досліджень	Суть методу	Значення (область застосування)

Мета: з'ясувати особливості організму як відкритої біологічної системи, ознайомитися із законами термодинаміки живих систем; сформулювати уявлення про основні положення термодинаміки біологічних процесів; навчитися розв'язувати типові задачі з теми.

Теоретичні питання:

1. Загальні поняття термодинаміки.
2. Організм як відкрита термодинамічна система.
3. Ентальпія. Перший закон термодинаміки для біологічних систем.
4. Ентропія. Другий закон термодинаміки для біологічних систем.
5. Спряжені процеси.
6. Термобіологія. Терморегуляція.

Визначити основні поняття:

Термодинамічна система, ізольована термодинамічна система, замкнута термодинамічна система, відкрита термодинамічна система, термодинаміка, термодинамічний процес, термодинамічні параметри, рівноважні процеси, нерівноважні процеси, термодинамічна рівновага, рівноважний стан системи, стаціонарний стан системи, градієнт, внутрішня енергія, теплота, робота, ентальпія, ентропія. I закон термодинаміки, II закон термодинаміки, теплотворення, тепловіддача, терморегуляція, конвекція, перспірація.

Практична робота

Оцінка теплового балансу людини. Оцінка впливу параметрів мікроклімату робочої зони на фізіологічний стан працівників

Мета: з'ясувати дію на організм людини параметрів мікроклімату робочої зони.

Теоретичні відомості

Основними параметрами мікроклімату є температура, відносна вологість, швидкість переміщення повітря та інтенсивність теплового випромінювання. Значне відхилення параметрів мікроклімату від оптимальних або допустимих може спричинити фізіологічні порушення в організмі людини, різке зниження її працездатності і навіть професійні захворювання. Наприклад, тривалий вплив низьких температур може викликати місцеве та загальне охолодження організму і стати причиною таких захворювань, як ангіна, катар верхніх дихальних шляхів, неврит, радикуліт і, навіть, смерті.

Під впливом високих температур можливий перегрів організму, який характеризується підвищенням температури тіла людини, підвищенням частоти пульсу та дихання, слабкістю, а в тяжких випадках – появою судом та теплового шоку. Тепловий шок та судомна хвороба (порушення водного та сольового обміну) можуть закінчитися смертю.

Людина починає відчувати рух повітря за швидкості 0,1 м/с. Незначне переміщення повітря за звичайних температур сприяє доброму самопочуттю. Великі швидкості повітря, особливо за низьких температур, збільшують теплові втрати організму та сприяють сильному його охолодженню.

Теплові (інфрачервоні) випромінювання від нагрітих предметів та устаткування значно впливають на створення несприятливих мікрокліматичних умов у приміщеннях та впливають на організм людини, інтенсивність такого впливу залежить від густини потоку енергії інфрачервоних випромінювань, довжини хвилі, тривалості і зони впливу. Останній може бути загальним і локальним.

Санітарно-гігієнічне нормування умов мікроклімату здійснюється за ДСН 3.3.6.042-99, які встановлюють оптимальні і допустимі параметри мікроклімату залежно від загальних енерговитрат організму при виконанні робіт і періоду року. *Допустимі мікрокліматичні умови* – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації. При цьому не виникає ушкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності. Допустимі параметри мікрокліматичних умов встановлюються у випадках, коли на робочих місцях не можна забезпечити оптимальні величини мікроклімату за технологічними вимогами

виробництва, технічною недосяжністю та економічно обґрунтованою недоцільністю. Розглянемо більш детально один з основних механізмів гомеостатичного регулювання організму людини – *терморегуляцію*.

Терморегуляція – сукупність фізіологічних процесів, що забезпечують при зміні мікроклімату сталість температури тіла людини в припустимих фізіологічних межах 36,4–37,5°C (цей діапазон температур найбільш сприятливий для перебігу всіх хімічних реакцій в організмі й діяльності головного мозку).

Під час постійного теплообміну між людиною й навколишнім середовищем тепловий стан організму формується в результаті двох процесів, що відбуваються одночасно, – *теплотворення* (або хімічної терморегуляції) й *тепловіддачі* (або фізичної терморегуляції).

Теплотворення відбувається за рахунок:

- обміну речовин;
- скорочення скелетних м'язів;
- теплопродукції печінки та бурого жиру;
- поглинання тепла з навколишнього середовища.

Тепловіддача відбувається за рахунок:

- теплопроведення;
- випромінювання;
- конвекції;
- випаровування вологи.

Бурий жир є джерелом прискореного теплоутворення в організмі людини, він розташований у міжлопатковій області, вздовж великих судин грудної та черевної порожнин, у потиличній області шиї. Загальна маса бурого жирової тканини у дорослої людини становить приблизно 0,1% маси тіла.

Теплопроведення – віддача тепла об'єкту, який безпосередньо контактує з тілом людини. Чим нижче температура цього об'єкта, тим швидше втрачає тепло організм людини. Цей спосіб віддачі тепла обмежений одягом, повітряним прошарком і підшкірним жировим шаром, які є гарними ізоляторами тепла.

Випромінювання – тепловіддача шляхом довгохвильового інфрачервоного випромінювання, яке випускає шкіра людини (інша назва – радіаційна тепловіддача). Ефективність випромінювання залежить від площі, з якої відбувається випромінювання, від кількості об'єктів, що поглинають інфрачервоні промені, та інших факторів.

Конвекція – тепловіддача за рахунок обтікання поверхні шкіри людини шаром повітря, який при контакті зі шкірою нагрівається і піднімається, його місце займає холодне повітря і так далі, тобто відбувається тепломасоперенесення.

Випаровування вологи (перспірація) – віддача тепла за рахунок випаровування води. При цьому розрізняють два види випаровування. *Перспірація, що відчувається* – віддача тепла шляхом випаровування поту. *Перспірація, що не відчувається* – випаровування води зі слизових дихальних шляхів і води, яка просочується крізь епітелій шкірного покриву.

Ефективність випаровування залежить від середовища: чим вище температура і нижче вологість повітря, тим ефективніше потовиділення як механізм віддачі тепла. При 100% насиченні повітря парами води випаровування неможливе.

Рівняння теплового балансу організму людини можна представити такою формулою:

$$Q_{\text{теплотвор}} = Q_{\text{випар}} \pm Q_{\text{випром}} \pm Q_{\text{конв}} \pm Q_{\text{теплопров}}, \quad \text{де}$$

$Q_{\text{випар}}$ – тепловіддача шляхом випаровування вологи, Вт;

$Q_{\text{випром}}$ – тепловіддача шляхом теплового випромінювання, Вт;

$Q_{\text{конв}}$ – тепловіддача шляхом конвекції, Вт;

$Q_{\text{теплопров}}$ – тепловіддача шляхом теплопроведення, Вт.

Знак « \pm » перед $Q_{\text{випром}}$, $Q_{\text{конв}}$ і $Q_{\text{теплопров}}$ свідчить про те, що в процесі теплообміну організм людини шляхом випромінювання, конвекції і теплопроведення може не тільки віддавати, але й отримувати тепло залежно від умов зовнішнього середовища.

У випадку, коли $Q_{\text{теплотвор}} = Q_{\text{тепловід}}$, спостерігається нормальний тепловий стан і оптимальний обмін речовин в організмі людини, висока працездатність, максимальна продуктивність праці.

Проте утворення тепла й його віддача в кількісному відношенні не завжди дорівнюють одне одному. При тривалому впливі низької температури навколишнього повітря спостерігається охолодження організму, порушується тепловий баланс і організм починає в одиницю часу виробляти тепла більше, ніж віддавати ($Q_{\text{теплотвор}} > Q_{\text{тепловід}}$). У результаті в організмі відбувається нагромадження тепла, і, як наслідок, підвищується температура тіла (внутрішніх органів і тканин). При високій температурі повітря, навпаки, спостерігається перевищення тепловіддачі над теплотворенням ($Q_{\text{теплотвор}} < Q_{\text{тепловід}}$) і температура тіла знижується.

Слід відзначити, що у людини можливість зберігати температуру тіла постійною за рахунок терморегуляції обмежена. При тривалому перебуванні в несприятливих метеорологічних умовах з постійною напругою механізмів терморегуляції можливе виникнення стійких змін фізіологічних функцій організму – порушення діяльності серцево-судинної системи, пригнічення ЦНС, порушення водно-сольового балансу, зниження імунітету і т. ін.

При оптимальному (комфортному) мікрокліматі механізми терморегуляції функціонують без фізіологічного напруження. Тепловіддача здійснюється через дихання (12–15% на нагрівання повітря, що вдихається, та випаровування вологи з поверхні легень і слизових оболонок) та через шкіру (45–47% – радіацією, 28–30% – проведенням (конвекцією і кондукцією), 15–18% – випаровуванням поту з поверхні шкіри).

В умовах нагріваючого мікроклімату температура повітря і радіаційна температура від нагрітих поверхонь (стін, предметів, металу, машин тощо) часто буває вища, ніж поверхня тіла людини. Тому вона не лише не може віддавати тепло радіацією, конвекцією та проведенням, а, навпаки, отримує цими механізмами додаткове тепло. І єдиним механізмом тепловіддачі і підтримання теплової рівноваги організму у цих умовах залишається віддача тепла випаровуванням.

При сухому повітрі (відносна вологість менше 40%) та наявності вітру цей механізм спрацьовує досить ефективно. При високій вологості та відсутності вітру цей механізм спрацьовує погано: піт виділяється і стікає, не випаровуючись, у зв'язку з чим розвивається перегрів і тепловий удар (а при прямій інсоляції і сонячний удар), зневоднення організму. З потом виділяється значна кількість макро- та мікроелементів, особливо хлоридів, калію, магнію, що негативно впливає на діяльність серця, може призводити до приступів стенокардії, інфарктів міокарду. А тому з метою профілактики таких ускладнень необхідно компенсувати втрати солей за допомогою збагачених солями напоїв (чай, мінеральна лужна вода, морс із журавлини, молочно-кислі напої, узвари), корекцією харчових раціонів та збільшити вживання води.

Дослідження показують, що окремі люди виділяють 1 л поту за годину протягом 8-годинної зміни, але не більше 12 л за 24 години. В лабораторних умовах доведено, що тренувана людина здатна протягом 30 хвилин виділяти до 2 л поту, але після цього вона стає непрацездатною (серія технічних доповідей ВООЗ № 412, 1970).

Виділенням 1 л поту за годину в умовах гарячого цеху може забезпечити внутрішню теплову рівновагу при загальному тепловому навантаженні 600 ккал/годину з невеликим напруженням серцево-судинної системи і без підвищення температури тіла. Але така ж інтенсивність потовиділення при підвищеній вологості повітря у людини в одязі може супроводжуватись сильним напруженням механізмів терморегуляції. При цьому лише 0,5 л поту за годину випаровується, забираючи тепло з тіла на сховану теплоту паротворення (0,6 ккал/грам поту). Решта поту не встигає випаровуватись, стікаючи з тіла та змочуючи одягу.

У зв'язку з цим спеціалістами ВООЗ та ООН розроблені медичні заходи по контролю умов праці за умови несприятливого мікроклімату. Серед них важливе місце займають розрахункові методи визначення теплових навантажень організму та профілактики перегріву і викликаной ним патології.

Завдання 1. Оцінка теплового балансу людини шляхом розрахунку тепловиділення.

Мета: навчитися оцінювати тепловий баланс людини шляхом розрахунку тепловиділення.

Методика. Оцінка теплового самопочуття людини здійснюється шляхом порівняння величини теплоутворення під час виконання роботи і тепловиділення, визначених шляхом розрахунку

кількості тепла, що виділяється людиною випромінюванням, проведенням, випаровуванням вологи.

Вихідні показники:

а) теплопродукція організму у стані спокою становить 0,8–1,5 ккал (3,34–6,27 кДж) на 1 кг маси тіла за 1 годину, при виконанні важкої роботи – 7–9 ккал/кг за год;

б) поверхня тіла «середньої» людини зі зростом 170 см та масою тіла 65 кг складає приблизно 1,8 м² (див. табл. 1);

в) у виділенні тепла проведенням та випаровуванням поту бере участь 100% поверхні тіла;

г) у виділенні тепла випромінюванням бере участь 80% поверхні тіла (див. табл. 1).

Якщо є одностороннє джерело теплової радіації, то по відношенню до нього у теплообміні випромінюванням бере участь 40% поверхні тіла.

Таблиця 1

Залежність поверхні тала людини від її маси

Маса тіла, кг	Поверхня тіла, м ²	
	100%	80%
40	1,323	1,058
45	1,482	1,186
50	1,535	1,228
55	1,635	1,308
60	1,729	1,383
65	1,830	1,464
70	1,922	1,538
75	2,008	1,606
80	2,098	1,678
85	2,188	1,750
90	2,263	1,810
95	2,338	1,870
100	2,413	1,930

1. Розраховуємо тепловиділення випромінюванням (радіацією):

$$Q_{\text{рад}} = 4,5 \cdot (T_1 - T_2) S, \quad \text{де}$$

Q — кількість тепла, що виділяється випромінюванням, ккал/год;

T_1 — температура тіла, °C;

T_2 — температура внутрішньої поверхні стін, °C;

S — площа поверхні тіла, м².

2. Розраховуємо тепловиділення проведенням:

$$Q_{\text{пр}} = 6 (T_1 - T_2) \cdot (0,5 + \sqrt{V}) S \quad Q_{\text{пр}} = 7,2 (T_1 - T_2) \cdot (0,27 + \sqrt{V}) S, \quad \text{де}$$

Q — кількість тепла, виділеного проведенням, ккал/год;

T_1 — температура тіла, °C;

T_2 — температура повітря, °C;

V — швидкість руху повітря, м/с;

S — площа поверхні тіла, м²;

6 і 0,5 — постійні коефіцієнти при швидкості руху повітря менше 0,6 м/с;

7,2 і 0,27 — постійні коефіцієнти при швидкості руху повітря більше 0,6 м/с.

3. Розраховуємо максимальну кількість води, яка може випаровуватися з поверхні тіла:

$$P_{\text{вип}} = 15 (F_{\text{max}} - F_{\text{абс}}) \cdot (0,5 + \sqrt{V}) S, \quad \text{де}$$

$P_{\text{вип}}$ — кількість води, яка може випаровуватися з поверхні тіла за певних умов, мл/год;

15 — постійний коефіцієнт;

F_{max} — максимальна вологість при температурі шкіри тіла, мм рт.ст.;

$F_{\text{абс}}$ — абсолютна вологість при даній температурі повітря, мм рт.ст.;

$(F_{\text{max}} - F_{\text{абс}})$ — фізіологічний дефіцит насичення, мм рт.ст.;

V — швидкість руху повітря, м/с;

S — площа поверхні тіла, м².

Абсолютну вологість $F_{абс}$ можна визначити за формулою:

$$F_{абс} = \frac{F_{відн} \cdot F_{max}}{100\%}, \quad \text{де}$$

F_{max} – максимальна вологість при температурі шкіри тіла, мм рт.ст.;

$F_{відн}$ – відносна вологість при даній температурі повітря, %.

Кількість тепла, що виділяється при випаровуванні поту, можна розрахувати, помноживши результат на 0,6 (калорійний коефіцієнт випаровування 1 г води). При цьому необхідно врахувати, що нормальне теплове самопочуття зберігається, якщо величина випаровування поту не перевищує 250 мл, на що витрачається 150 ккал.

4. Розраховуємо сумарне тепловиділення організму людини:

$$Q_{теплотвор} = Q_{випар} \pm Q_{випром} \pm Q_{теплопров}$$

Інтенсивність обміну речовин (теплопродукція) залежить від роботи, яку виконує людина. При виконанні роботи легкої важкості людина витрачає 170 ккал/год, середньої важкості – 300 ккал/год; важкої роботи – 420 ккал/год.

Приклад: Оцінити теплове самопочуття «стандартної людини» (поверхня тіла 1,8 м², зріст 170 см, маса 65 кг) у легкому одязі при температурі поверхні тіла 36°C, яка виконує важку роботу (570 ккал/год) у приміщенні, де температура повітря 22°C, швидкість руху повітря 0,7 м/с, відносна вологість 70%. За спрощеною формулою визначаємо тепловіддачу за рахунок випромінювання (віддачі тепла з 80% поверхні тіла) та проведення:

$$Q_{рад} = 4,5 \cdot (36 - 22) \cdot 1,8 \cdot 0,8 = 90,72 \text{ ккал/год}$$

$$Q_{пр} = 7,2 \cdot (36 - 22) \cdot (0,27 + 0,83) \cdot 1,46 = 160 \text{ ккал/год}$$

Для розрахунку максимальної кількості води, яка може випаровуватися з поверхні тіла, за таблицею «Максимальний тиск водяної пари повітря приміщень» при різних температурах визначасмо величину максимальної вологості при температурі 36°C. Вона становить 42,2 мм рт.ст.

Таблиця 2

Максимальний тиск водяної пари повітря приміщень

Температура повітря, °C	Тиск водяної пари, мм рт. ст.	Температура повітря, °C	Тиск водяної пари, мм рт. ст.	Температура повітря, °C	Тиск водяної пари, мм рт. ст.
-20	0,94	11	9,844	24	22,377
-15	1,44	12	10,518	25	23,756
-10	2,15	13	11,231	26	25,209
-5	3,16	14	11,987	27	26,739
-3	3,67	15	12,788	30	31,843
-1	4,256	16	13,634	32	35,663
0	4,579	17	14,590	35	42,175
1	4,926	18	15,477	37	47,067
2	5,294	19	16,477	40	53,324
4	6,101	20	17,735	45	71,83
6	7,103	21	18,630	55	118,04
8	8,045	22	19,827	100	760,0
10	9,209	23	21,068		

Абсолютну вологість при температурі повітря 22°C визначасмо за спрощеною формулою:

$$F_{абс} = \frac{70\% \cdot 42,2 \text{ мм.рт.ст}}{100\%} = 29,5 \text{ мм.рт.ст}$$

Підставляємо знайдені результати до формули:

$$P_{вип} = 15 (42,2 - 29,5) \cdot (0,5 - 0,83) \cdot 1,8 = 456 \text{ мл/год}$$

Кількість тепла, відданого випаровуванням, при цьому становить:

$$456 \cdot 0,6 = 273,6 \text{ ккал/год}$$

Розраховуємо сумарне тепловиділення:

$$Q_{теплотвор} = 90,72 + 160,0 + 273,6 = 524,32 \text{ ккал}$$

Зіставляючи розрахункове тепловиділення і теплопродукцію (570 ккал/год) для оцінки теплового самопочуття людини, можна дійти висновку, що в умовах даного приміщення теплопродукція людини перевищує величину тепловиділення. Мікроклімат приміщення викликає нагріваючий ефект.

Примітка: Наведені розрахунки не враховують виділення тепла диханням: на нагрівання вдихуваного повітря і на випаровування вологи з поверхні легень, що складає в комфортних умовах близько 15% загальної кількості тепловиділення. Ми вдихасмо повітря певної температури і вологості, а видихасмо повітря, нагріте до температури тіла і на 100% насичене вологою.

Завдання 2. Гігієнічні нормативи та методи розрахунку теплових навантажень організму. Розрахунок теплового навантаження (ТН) за методом Белдінга і Тетча.

За цим методом теплове навантаження розраховується за формулою:

$$ТН = Q \pm C \pm R - E_{\text{макс}} \text{ ккал/год, де}$$

Q – інтенсивність обміну речовин (теплопродукція) під час виконання роботи: легкої важкості – 170 ккал/год; середньої важкості – 300 ккал/год; важкої – 420 ккал/год;

R – теплообмін радіацією, ккал/год;

C – теплообмін шляхом конвекції, ккал/год;

$E_{\text{макс}}$ – максимально можлива віддача тепла шляхом випаровування поту, ккал/год.

Віддачу (–) чи отримання (+) тепла радіацією (R) розраховують за формулою:

$$R = 11 \times (t_{\text{кул}} - 35) \text{ ккал/год, де}$$

$t_{\text{кул}}$ – середня радіаційна температура довкілля за показаннями кульового чорного термометра, °C;

Віддачу (–) чи отримання (+) тепла конвекцією (C) розраховують за формулою:

$$C = 6 \times v^{0,6} \times (t_{\text{сух}} - 35) \text{ ккал/год, де}$$

v – швидкість руху повітря, м/с ($v^{0,6}$ знаходять в табл. 3);

$t_{\text{сух}}$ – температура повітря, за показаннями сухого термометра психрометра, °C;

35 – температура поверхні тіла.

Таблиця 3

Швидкість руху повітря

v м/с	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$v^{0,6}$	0,17	0,25	0,38	0,49	0,58	0,66	0,74	0,81	0,87	0,94	0,99

Максимальну віддачу тепла випаровуванням поту ($E_{\text{макс}}$) розраховують за формулою:

$$E_{\text{макс}} = 12 \times v^{0,6} \times (42 - p) \text{ ккал/год, де}$$

p – максимальний тиск водяної пари повітря при показниках сухого термометра психрометра, мм рт.ст.

При використанні легкого одягу результат розрахунку ТН ділять на 3.

Припустимі величини знаходяться в межах (не більше) 400–600 ккал/год. Слід зауважити, що зі збільшенням швидкості руху повітря пропорційно збільшується інтенсивність випаровування поту. Тому ця методика розрахована для умов малої рухливості повітря.

Приклад: У першу половину літа (червень) студенти природничого факультету працюють на агробіологічній станції, виконуючи роботу середньої важкості. Інтенсивність обміну речовин (теплопродукція) Q = 300 ккал/год. Середня радіаційна температура навколишнього середовища за показниками чорного кульового термометра $t_{\text{кул}} = 40^\circ\text{C}$; температура повітря за показниками сухого термометра психрометра $t_{\text{сух}} = 38^\circ\text{C}$; швидкість руху повітря v = 0,05 м/с; максимальна вологість повітря при показнику сухого термометра 38°C p = 48 мм рт.ст.

Спочатку розраховують віддачу (–) чи отримання (+) тепла радіацією

$$R = 11 \times (40 - 35) = 11 \times 5 = + 55 \text{ ккал/год}$$

Далі – віддачу (–) чи отримання (+) тепла конвекцією

$$C = 6 \times 0,17 \times (38 - 35) = + 3,06 \text{ ккал/год}$$

Потім – максимальну віддачу тепла випаровуванням поту

$$E_{\text{макс}} = 12 \times 0,17 \times (42 - 48) = - 12,24 \text{ ккал/год}$$

Звідси, теплове навантаження (ТН) буде дорівнювати

$$ТН = 300 + 55 + 3,06 - 12,24 = 345,82 \text{ ккал/год}$$

Висновок. Теплове навантаження не перевищує допустимих величин (400–600 ккал/год).

Висновок: _____

Самостійна робота

Підготувати повідомлення (мультимедійну презентацію, доповідь) на тему:

- Терморегуляція. Теплообмін у людини та тварин.
- Термостатична регуляція температури тіла тварин.
- Термобіологія. Вплив температури на тварин.
- Терморцепція у тварин. Поведінкова реакція тварин на температуру.
- Вимірювання температури тіла. Термолікування.

Контрольні питання

1. Поясніть у чому полягає принцип розгляду організму людини як відкритої термодинамічної системи.
2. У чому полягає I закон термодинаміки біологічних систем?
3. Ентальпія. Закон Гесса.
4. Другий закон термодинаміки (формулювання Клаузіуса, Томпсона). Ентропія. Інформація і її зв'язок з ентропією.
5. Чому дорівнює загальна зміна ентропії біологічних систем?
6. Чому дорівнює швидкість зміни ентропії біологічної системи?
7. При яких змінах ентропії в живому організмі відбуваються патологічні зміни його функціонування, а при яких – підтримання його життєдіяльності?
8. Теорема Пригожина. Критерії стійкості системи при термодинамічній рівновазі і в стаціонарному стані.
9. У чому полягає термодинамічний критерій пристосування організмів до зовнішніх змін?
10. Чому вважається, що розвиток живих організмів відбувається за рахунок зменшення впорядкованості навколишнього середовища?
11. Що таке вільна енергія та чому вона необхідна для функціонування живих систем?

Лабораторне заняття №3–4

ТЕМА: Молекулярна біофізика

Мета: з'ясувати особливості біофізики органічних та неорганічних сполук живих організмів.

Обладнання: пробірки, штативи для пробірок, спиртові термометри, спиртівка, термостійка колба з пробкою і трубкою в ній, скляні трубки з різним внутрішнім діаметром, монети, скрепки, скляний посуд, металевий дріт діаметром 0,5 мм, намистини різного кольору, ножиці по металу.

Теоретичні питання:

1. Молекулярний склад живих організмів.
2. Коротка характеристика основних груп біополімерів.
3. Біологічна роль води, її структура.
4. Основні фізико-хімічні властивості води.
5. Біофізика білків та нуклеїнових кислот.
6. Ферментативний каталіз.

Визначити основні поняття:

Біополімери, амінокислоти, нуклеїнові кислоти, вітаміни, гормони, кофактори, ферменти, комплексні сполуки, ліганди.

Практична робота

Завдання 1. Провести дослід по вивченню властивостей води.

Мета: закріпити уявлення про розчини та знання про властивості води.

Дослід 1. Вода – розчинник. У пробірки по черзі додати по ½ чайної ложки солі, цукру, крохмалю, подрібненої крейди, олії, перманганату калію. Заміряти температуру. У висновку вказати розчинні і нерозчинні речовини, дати визначення розчину.

Висновок: _____

Дослід 2. Вивчення теплоємності води. Взяти три шматочки льоду і покласти: 1 – в чашку Петрі; 2 – у ємність з водою кімнатної температури; 3 – у ємність з водою, нагрітою до 60–70°C. Зафіксувати час за допомогою секундоміру, за який розтане лід. Пояснити, що відбувається.

Висновок: _____

Дослід 3. Дослідження поверхневого натягу води. Налити повну стопку води. Обережно занурити у воду монети по 50 коп. Що відбувається? Скільки монет вдалося занурити? Налити воду у широкий посуд і обережно (за допомогою пінцета) покласти на поверхню води скріпки. Пояснити, що спостерігається. У колбу налити підфарбовану воду. Занурити у неї трубочки з меншим і більшим внутрішнім діаметром. Що відбувається з водою всередині трубочок?

Висновок: _____

Дослід 4. Колбу плоскодонну об'ємом 300–400 мл наповнюємо на ¾ підфарбованою водою і закриваємо корком зі скляною трубкою. Нагріваємо колбу над полум'ям спиртівки, не доводячи до кипіння. Що відбувається з водою?

Висновок: _____

Завдання 2. Розв'яжіть розрахункові задачі.

Теоретичні відомості

Вміст води у тілі людини залежно від віку коливається від 45 до 75% загальної маси. Вода зосереджена в організмі у трьох просторах – всередині клітин, поза клітинами і у замкнених порожнинах. Всередині клітин знаходиться 30–45% води. Позаклітинна вода розподіляється між тканинною рідиною (12–16%), плазмою крові (близько 5%) і лімфою (2%). Внутрішньопорожнинна вода становить незначну частку в організмі людини (1–3%) і входить до складу спинномозкової, перикардіальної, синовіальної, внутрішньоочної рідин. З віком зменшується загальна кількість води в організмі за рахунок саме позаклітинної води. Так, у ембріона людини загальний вміст води становить 90% маси тіла, у новонароджених – близько 80, у підлітків – 55–60, а у людей похилого віку – близько 50%. Коливається вміст води у клітинах різних органів і тканин, що залежить від інтенсивності метаболізму в них. Так, кісткова тканина містить 22% води, шкіра – 72, скелетні м'язи, легені, серце – 79, а клітини кори головного мозку – близько 85% води.

Вміст води в організмі підтримується за рахунок її надходження з їжею (до 2 л на добу), деяка кількість (0,3 л на добу) утворюється у процесі розпаду органічних речовин (ендогенна вода). Так, при окисненні 100 г жирів утворюється 107 г води, білків – 41,3 г, вуглеводів – 55,6 г.

Задача 1. Обчисліть масу води у власному організмі, знаючи масу свого тіла (прийняти вміст води в організмі за 60%).

Задача 2. Під час переходу через пустелю верблюд масою 200 кг втратив 4% своєї маси за рахунок повного окиснення жиру. Скільки він отримав при цьому метаболічної води, якщо відомо, що при окисненні 100 г жирів утворюється 107 г води?

Задача 3. Яка маса ендогенної води утворюється за добу в організмі людини, яка спожила за цей період 300 г пшеничного хліба (містить 50% вуглеводів), 100 г курячого м'яса (20% білка), 250 г молока (3,5% білка, 3,5% жиру та 5% вуглеводів) та 30 г вершкового масла (80% жиру)?

Завдання 3. Моделювання структури амінокислот і білків.

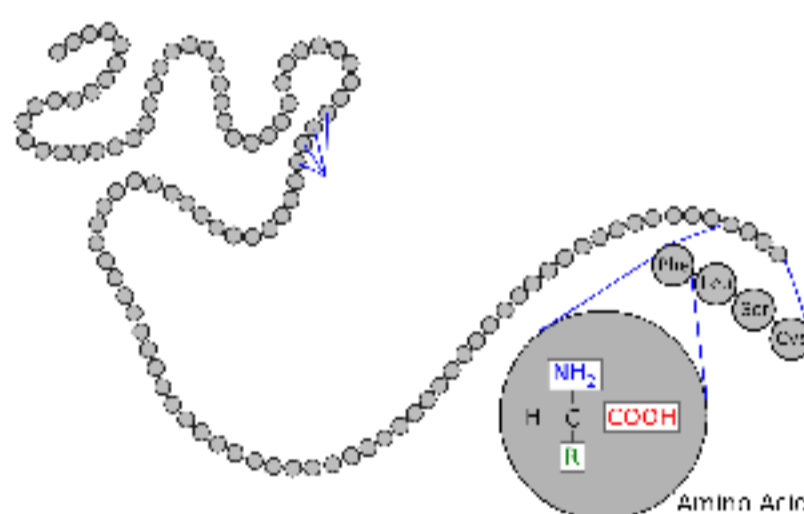
Мета: сформувати розуміння моделювання як методу пізнання, створити моделі просторової структури біомолекул.

Теоретичні відомості

Білки – це високомолекулярні органічні сполуки, нітрогеновмісні біополімери, побудовані з великої кількості залишків амінокислот (мономерів), сполучених пептидними та іншими видами зв'язків.

Обов'язковими компонентами молекули амінокислоти є *аміногрупа* ($-\text{NH}_2$) та *карбоксильна група* ($-\text{COOH}$), а інша частина молекули називається радикалом (R-група). Саме за будовою радикалу амінокислоти і розрізняються між собою. Дуже важливою властивістю амінокислот є здатність взаємодіяти між собою. Зв'язок $-\text{CO}-\text{NH}-$, що виникає при сполученні аміно- і карбоксильної групи амінокислот з виділенням води, називається *пептидним*. На одному кінці дипептиду є вільна аміногрупа, а на іншому – вільна карбоксильна група. Завдяки цьому дипептид може приєднувати до себе інші амінокислоти.

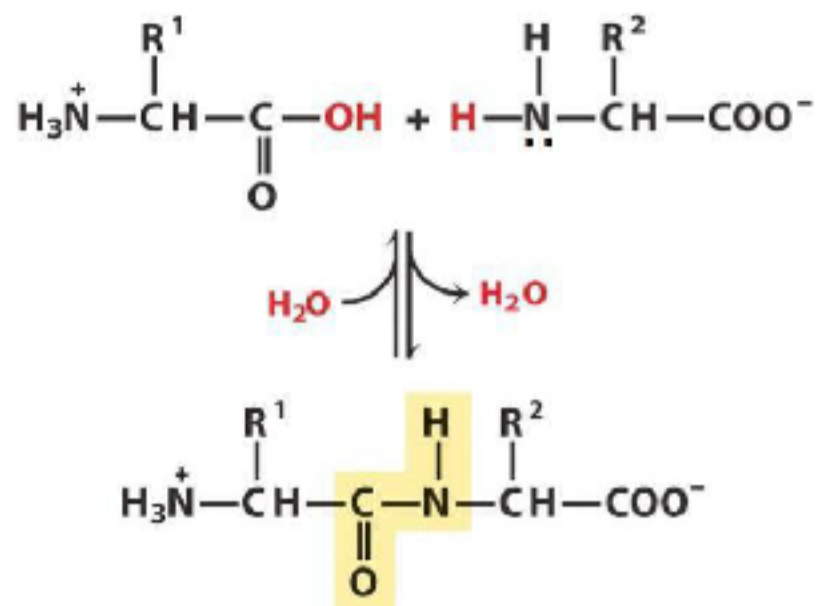
У молекулі білка кислоти (карбонові) кислоти своєю вільною $-\text{COO}^-$ групою (негативний заряд) можуть взаємодіяти з вільними аміногрупами $-\text{NH}_3^+$ (позитивний заряд) у радикалах амінокислот, утворюючи *йонний зв'язок* ($-\text{COO}^--\text{NH}_3^+$). Якщо сполучаються дві молекули сульфурвмісної амінокислоти цистеїну, виникає *дисульфідний зв'язок* ($-\text{S}-\text{S}-$), який може



Первинна структура білка – послідовність амінокислот

утворитися як між різними поліпептидними ланцюгами, так і між різними ділянками одного і того самого ланцюга. Це відіграє важливу роль у структуруванні білків.

Різновид хімічного зв'язку, що реалізується за донорно-акцепторним механізмом між двома ковалентно зв'язаними атомами з великим значенням електронегативності (O, N, F) за посередництвом атома Гідрогену називається *водневим зв'язком*. І, нарешті, між неполярними радикалами амінокислот за рахунок взаємодії нерозчинних у воді хімічних груп молекул ($-\text{CH}_3$, $-\text{C}_2\text{H}_5$ та ін.) виникають *гідрофобні зв'язки* ($-\text{R}-\text{R}-$), які відіграють важливу роль у підтриманні просторової структури пептидів і білків.

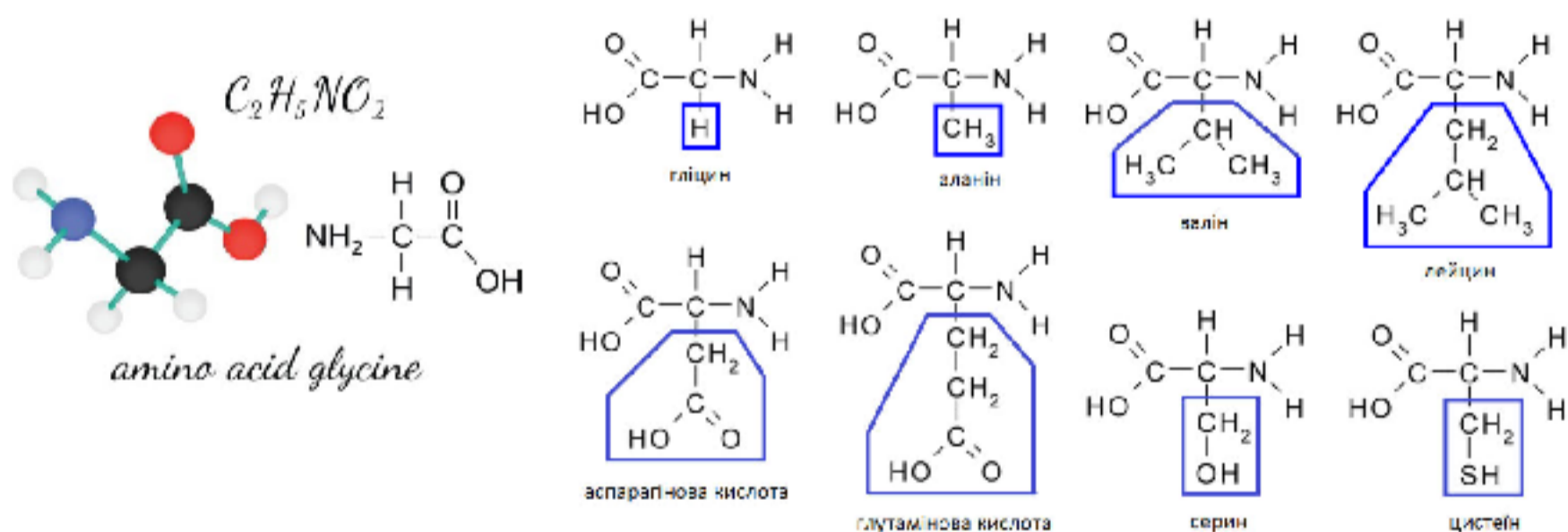


Утворення пептидного зв'язку

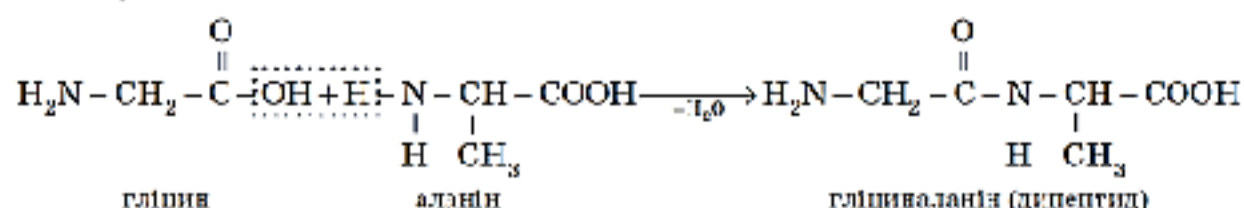
Для кожного білка характерна певна особлива геометрична форма або *конформація*. За рівнем організації структуру білків поділяють на первинну, вторинну, третинну і четвертинну. Під *первинною* структурою розуміють число і послідовність амінокислот у поліпептидному ланцюзі. Для будь-якого білка, крім первинної, характерна певна просторова *вторинна* структура. Це так звана α -спіраль, що стабілізується багатьма водневими зв'язками між $\text{CO}-$ і $\text{NH}-$ групами. Другий тип вторинної структури – складчаста β -структура. Декілька ділянок поліпептидного ланцюга, що організовані у просторі у формі α -спіралі чи β -структури, можуть об'єднуватися, формуючи надвторинну структуру, в результаті чого утворюються домени (функціональні або структурні). Під *третинною* структурою білка розуміють розміщення у просторі поліпептидного ланцюга, з властивою для нього первинною та вторинною структурами. Форма білкової молекули може бути кулястою (глобулярні білки) та ниткоподібною (фібрилярні білки). Багато білків складаються з кількох поліпептидних ланцюгів – субодиниць або протомерів з власною третинною структурою, що утримуються між собою у просторі. Це *четвертинна* структура білка. Основні процеси функціонування живої клітини визначаються насамперед просторовою структурою (конформацією) її молекул.

Порядок виконання роботи:

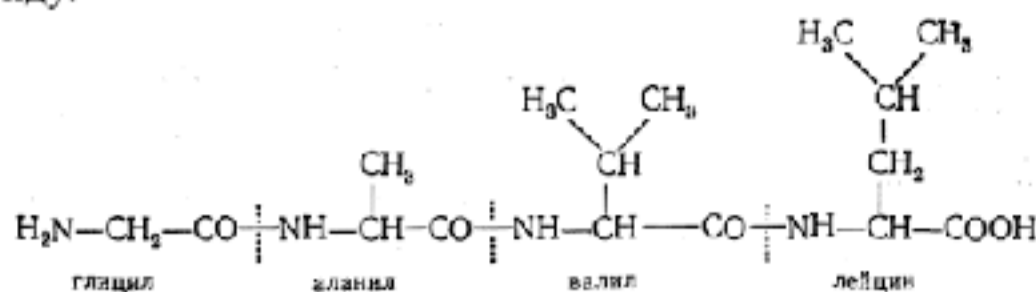
1. Візьміть мідний дріт і намистини. Користуючись формулами, виготовте моделі різних амінокислот. Для моделі використовуйте відповідне кольорове кодування: Гідроген – білий колір, Карбон – чорний, Оксиген – червоний, Нітроген – синій, Сульфур – жовтий.



2. Змодельуйте молекули дипептидів, використовуючи моделі амінокислот і рівняння реакції утворення дипептиду.



3. Змодельуйте молекулу поліпептиду, до складу якого входять не менше 4-х амінокислотних залишків. Визначте хімічні зв'язки, які стабілізують структуру білка. Запишіть рівняння реакції утворення поліпептиду.



Самостійна робота

1. Вивчити сучасні методи дослідження ДНК. Заповнити таблицю:

Методи дослідження ДНК	Суть методу	Значення і використання методу
Полімеразна ланцюгова реакція (ПЛР)		
Секвенування генів		
Генетичні маркери		

2. Зіставте терміни із визначеннями та заповніть табличку відповідей. Дізнайтесь назву розділу генетики, предметом дослідження якого є організація та функціонування геномів живих організмів. Поясніть перспективи цієї науки.

1	2	3	4	5	6	7	8

1. Репарація ДНК

Е. Процес самовідтворення нуклеїнових кислот, генів та хромосом.

2. Реплікація ДНК


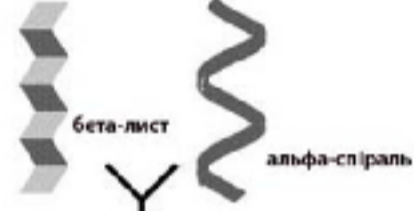
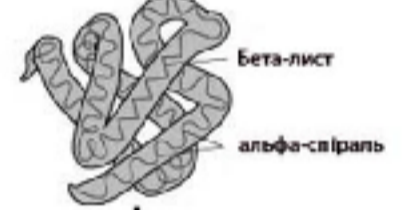
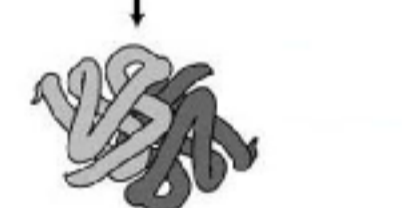
О. Синтез білків з амінокислот, що каталізується рибосомою на матриці матричної РНК (мРНК).

3. Транскрипція

І. Сукупність всієї спадкової генетичної інформації організму гаплоїдного набору, тобто всіх генів

- ядерної ДНК і позахромосомного генетичного матеріалу (мітохондріальна, пластидна ДНК, плазмідні тощо).
4. Трансляція
 5. Кросинговер
 6. Геном
 7. Ампліфікація ДНК-повторів
 8. Експресія генів
- Н. Процес перенесення генетичної інформації з ДНК на РНК.
 Г. Набір процесів, за допомогою яких клітина знаходить і виправляє пошкодження молекул ДНК, які кодують її геном.
 К. Процес утворення додаткових копій фрагмента ДНК (на основі ПЛР).
 А. Процес, при якому спадкова інформація генів (нуклеотидна послідовність) використовується для синтезу білка або РНК.
 М. Явище обміну ділянками гомологічних хромосом після кон'югації у профазі I мейозу.

3. Визначити хімічні зв'язки, які стабілізують структуру білка. Заповнити таблицю:

Структура білкової молекули	Схематичний малюнок	Хімічні зв'язки
Первинна		
Вторинна		
Третинна		
Четвертинна		

Контрольні питання:

1. У чому полягає біологічна роль білків?
2. Яка роль амінокислотної послідовності у конформації білкових молекул і їх біологічній активності?
3. Конкуренція молекул води за місця утворення водневих зв'язків у білкових молекулах.
4. Умови виникнення іонних зв'язків у білках. Утворення специфічних дисульфідних зв'язків.
5. Періодичні структури молекул: α -спіраль і β -структура.
6. Молекулярний механізм взаємодії ферменту з субстратом.

Лабораторне заняття №5
 ТЕМА: **Біофізика клітин**

Мета: ознайомитися з основними фізичними процесами, що перебігають в клітині.

Теоретичні питання:

1. Структура мембран. Штучні мембранні структури.
2. Транспортування речовини крізь біологічні мембрани.
3. Потенціал спокою. Потенціал дії.
4. Поширення збудження по нервовому волокну.

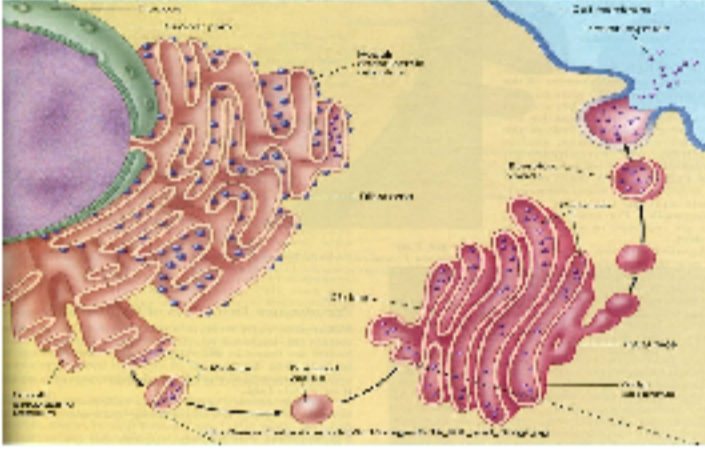
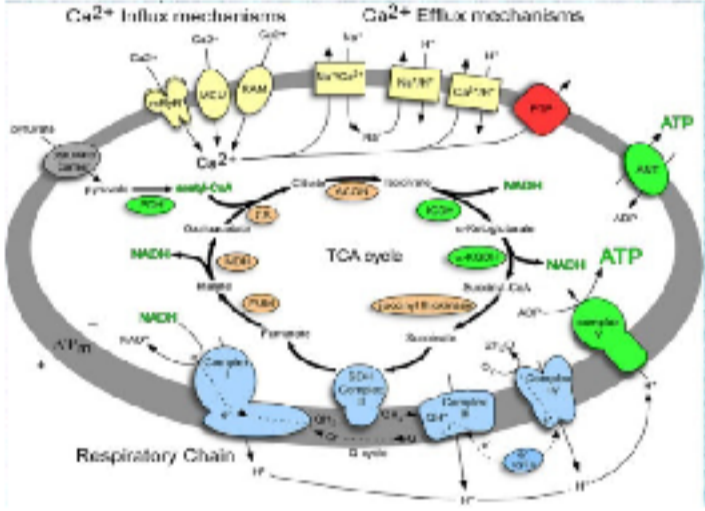
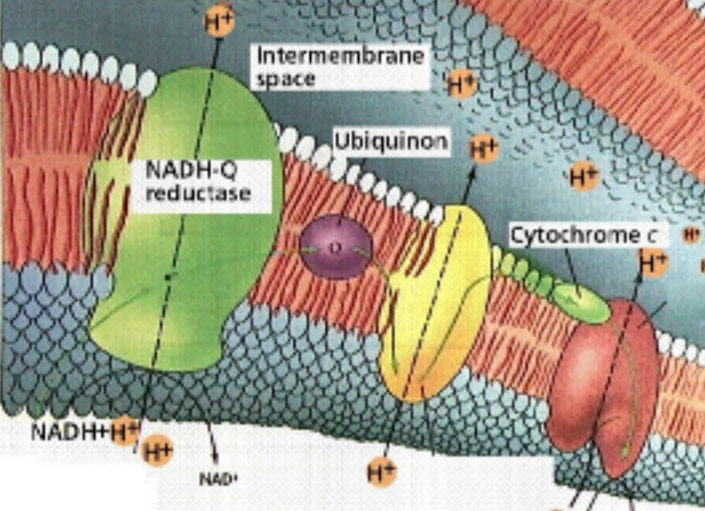
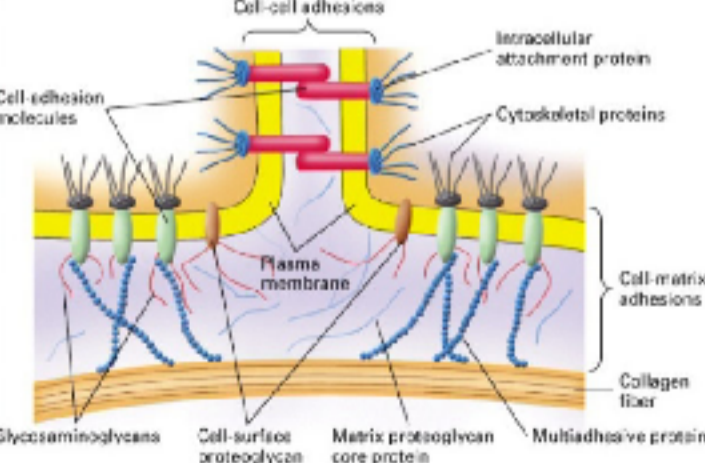
Визначити основні поняття:

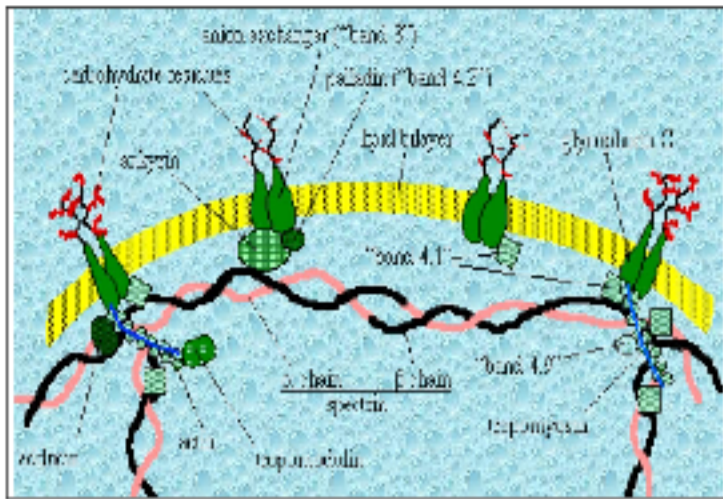
Біомембрана, рідкомозаїчна модель, амфифільність, гідрофобний хвіст фосфоліпідів, полярна головка фосфоліпідів, ліпосома, міцела, бішар фосфоліпідів, периферичні білки, інтегральні білки, глікопептиди, пасивне транспортування, дифузія, полегшена дифузія, фільтрація, активне транспортування, густина потоку речовини, мембранний потенціал спокою, мембранний потенціал дії, деполяризація мембрани, реполяризація мембрани, мієлінізоване нервово волокно, немієлінізоване нервово волокно, перехват Ранв'є, осмотична робота.

Практична робота

1. Заповнити таблиці, орієнтуючись під час заповнення на зображення, що ілюструють процеси, які відбуваються на біологічних мембранах.

Функції біомембран

	<p>1. Відмежування клітин та органел</p>
	<p>2. Контрольований транспорт метаболітів та іонів</p>
	<p>3. Ферментативний каталіз</p>
	<p>4. Контактна взаємодія</p>



5. Заякорювання цитоскелету

Транспорт речовин через мембрану

Зображення	Назва, суть та приклади транспорту речовин

Лабораторне заняття 6

ТЕМА: Біофізичні процеси у клітині. Фруктово-овочева батарея

Мета: вивчити біофізичні процеси в клітині; з'ясувати причину електропровідності біологічних об'єктів; ознайомитися з історією створення і будовою батарейок; проаналізувати електропровідність фруктів та овочів; провести дослід з фруктово-овочевою батареєю; сформувати практичні вміння реалізовувати експеримент і документально оформлювати його результати.

Теоретичні питання:

1. Електропровідність біологічних систем.

2. Вплив постійного електричного струму на організм людини.
3. Прилади для гальванізації та електрофорезу.

Практична робота

Обладнання: лимон, яблуко, картоплина, апельсин, солоний огірок, помідор, цибуля, морква, вольтметр (мультиметр), мідний дріт, довгі цинкові цвяхи, ножиці, світлодіодна лампочка.

Теоретичні відомості

Явище виникнення електричного струму при контакті різних металів було відкрито італійським фізіологом, професором медицини Болонського університету Луїджі Гальвані у 1786 році. Гальвані описав скорочення м'язів задніх лапок жаби, закріплених на мідних гачках, при дотику сталевого скальпеля. Спостереження були пояснені першовідкривачем як прояв «тваринної електрики».

Італійський фізик і хімік Алессандро Джузеппе Вольта, зацікавившись дослідями Гальвані, побачив зовсім нове явище – створення потоку електричних зарядів. Перевіряючи точку зору Гальвані, Вольта проробив серію дослідів і дійшов до висновку, що причиною скорочення м'язів служить не «тваринна електрика», а наявність ланцюга з різних провідників в рідині.

Щоб підтвердити свою думку, Вольта замінив лапку жаби електрометром (прилад для визначення величини електричного заряду) і повторив дослід. У 1800 році Вольта вперше публічно заявляє на засіданні Лондонського королівського товариства про своє відкриття: електричний струм того чи іншого напрямку виникає внаслідок того, що провідник другого класу (рідкий) знаходиться в середині і стикається з двома провідниками першого класу з двох різних металів.

Гальванічний елемент – хімічне джерело живлення, в якому використовується різниця електродних потенціалів двох металів, занурених у електроліт.

Окисно-відновний процес, що відбувається на електродах при проходженні постійного електричного струму через розчини або розплави електролітів, називається електроліз.

Гальванічний елемент є невідзарядним хімічним джерелом електроенергії. Принцип дії гальванічного елемента використовується в електрохімічних батареях і акумуляторах.

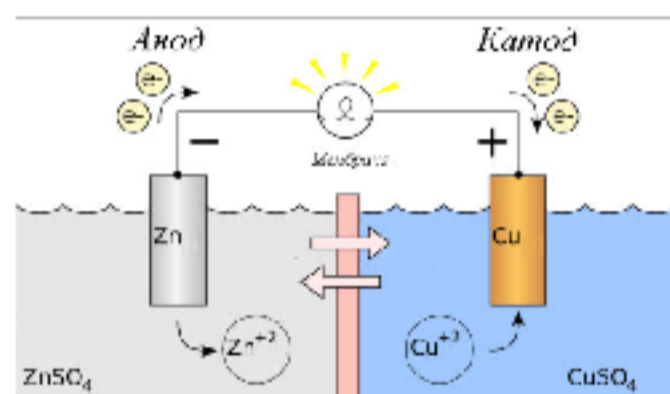


Схема гальванічного елемента Даніеля-Якобі

Завдання 1. *Виміряти струм в овочах і фруктах, заповнити таблицю.*

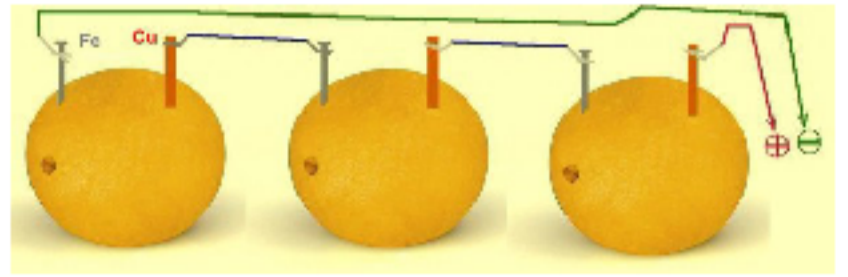
В кожен фрукт (овоч) занурте на глибину 2 см товстий мідний дріт (довжиною 5–8 см) та довгий цинковий цвях. Відстань між електродами має бути близько 3 см. Коли цинковий цвях контактує з кислотою фрукта, починаються дві хімічні реакції. Одна – реакція окислення: кислота починає забирати атоми цинку з поверхні цвяха. По два електрони відокремлюються від кожного атома цинку, додаючи цинковому цвяху (аноду) негативний заряд. Іони цинку залишаються всередині фрукта. Інша реакція – відновлення, в ній задіяні іони гідрогену з лимонної кислоти біля цинкового цвяха. Позитивно заряджені іони гідрогену отримують електрони і перетворюються на водень, який виходить назовні у вигляді пухирців. Мідь – сильний окисник і вона може притягувати електрони, звільнені цинком. Якщо замкнути електричне коло (підключити до фруктової батарейки лампочку або вольтметр), електрони почнуть рухатися від аноду до катоду крізь прилад, тобто у колі виникне електричний струм. Виміряйте напругу вольтметром.

№ з/п	Продукт (овоч, фрукт)	Напруга, В
1		
2		
3		
4		

№ з/п	Продукт (овоч, фрукт)	Напруга, В
5		
6		
7		
8		

Завдання 2. Створити фруктово-овочеву батарейку.

Візьміть декілька (3–5) фруктів або/та овочів з попереднього завдання, які дають найбільший струм. З'єднайте їх дротом у послідовний ланцюг («+» одного фрукта до «-» іншого). Це збільшить напругу у фруктово-овочевій батарейці.

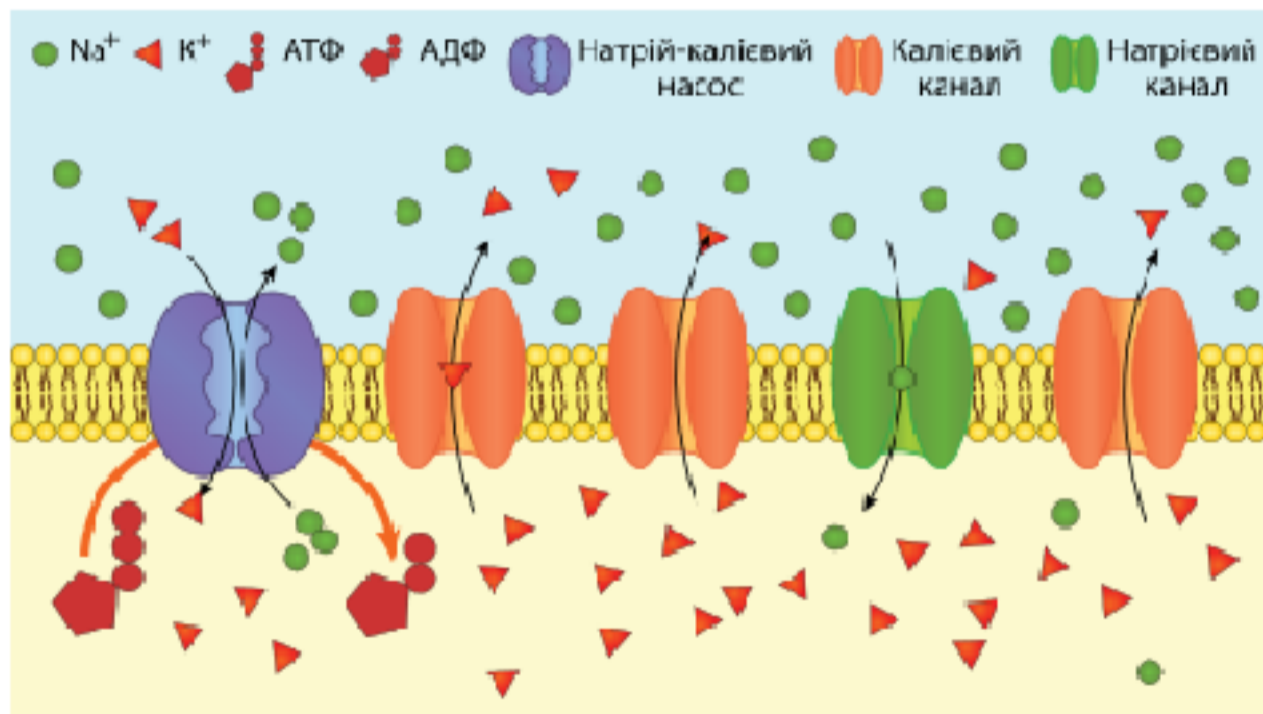


Під'єднайте два полюси до світлодіодної лампочки. Якщо вона не загорілась: 1) змініть полярність; 2) додайте ще один фрукт.

Висновок: _____

Самостійна робота

Описати процеси, що зображені на рисунку. Пояснити роль натрій-калієвої АТФази (натрій-калієвий насос), калієвих та натрієвих каналів у формуванні мембранного потенціалу спокою.



Схематичне зображення клітинної мембрани і роботи натрій-калієвого насосу.

Висновок: _____

Контрольні питання:

1. Опишіть структуру біологічної мембрани та її основні функції.
2. Чим викликана наявність потенціалу спокою на біомембрані клітини?
3. До якого потенціалу (калієвого, кальцієвого, натрієвого) наближується потенціал спокою клітини?
4. У чому виражаються гіперполяризація та деполяризація клітинної мембрани?
5. Що таке потенціал дії і коли він виникає на клітинній мембрані?
6. Що є необхідною умовою для виникнення потенціалу дії?
7. Які кількісні відношення між іонами калію, натрію та хлору в клітинній мембрані у стані спокою та під час збудження?
8. Які процеси в клітинній мембрані відбуваються за дії електричного струму?
9. У чому полягає електрична робота у живому організмі?
10. Чому дорівнює робота при перенесенні зарядів крізь клітинну мембрану?

Лабораторне заняття №7–8

ТЕМА: *Біофізика мембранних процесів. Проникність біологічних мембран*

Мета: закріпити знання про біофізичні основи мембранних процесів та вміння розв'язувати типові задачі з теми; сформувані практичні вміння реалізовувати експеримент, документально оформлювати та презентувати його результати.

Практична робота

Мета: дослідити проникливість біологічних мембран м'язових волокон для різних речовин.

Обладнання: дистильована вода, фізіологічний розчин (0,9% розчин NaCl – 1 чайна ложка кухонної солі на 1 л води), розчин оцтової кислоти (9% розчин), 3 шматочки свіжого м'яса, електронні ваги, скляні або керамічні ємкості, фільтрувальний папір.

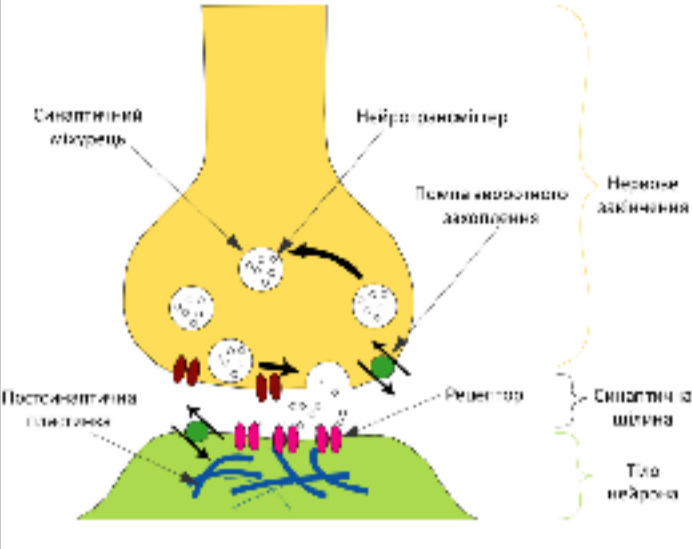
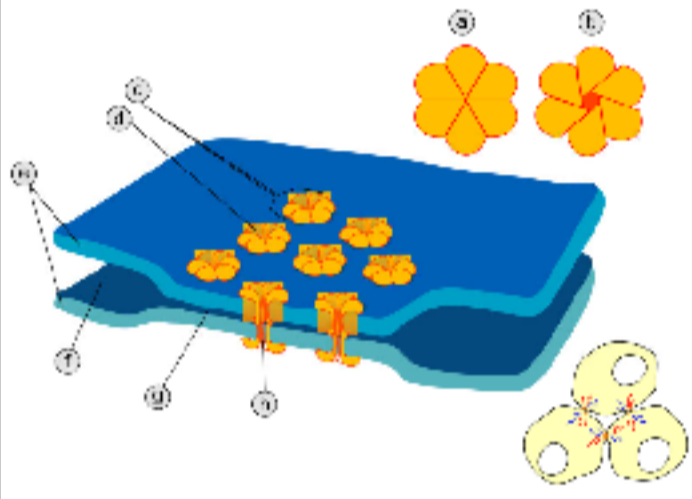
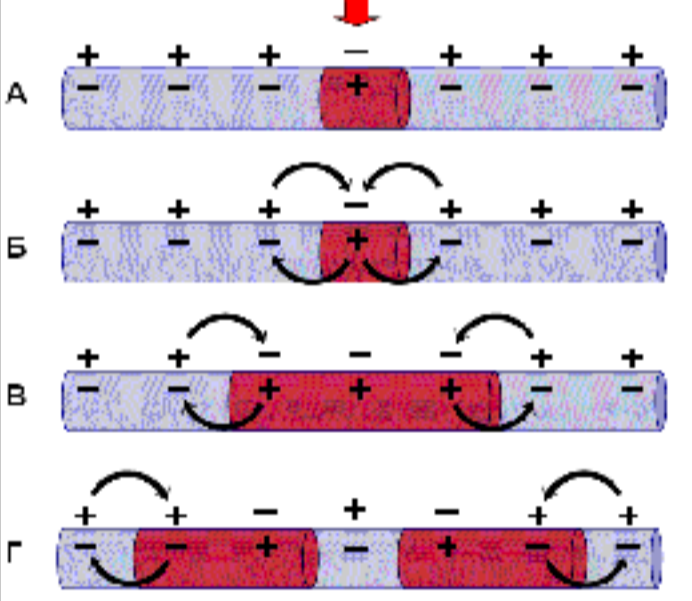
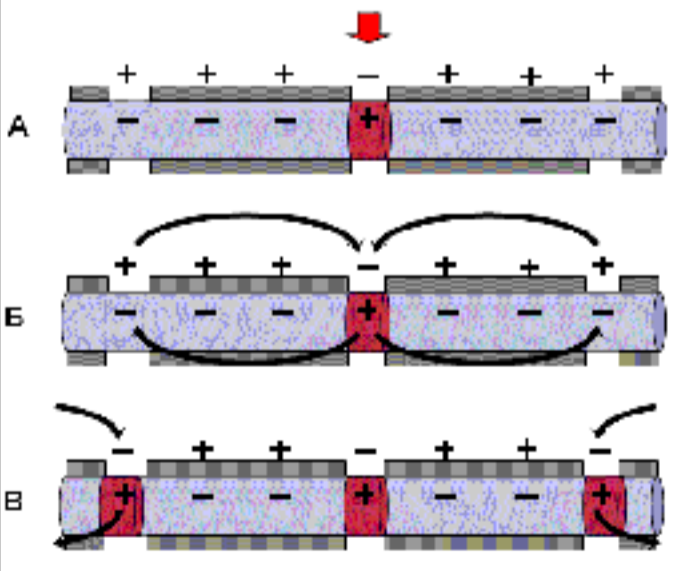
Порядок виконання роботи:

1. У три скляні чи керамічні ємкості налити дистильовану воду і розчини (по 20–30 мл).
2. Шматочки м'яса зважити (результати зважування записати у таблицю у графі «0») і покласти їх у зазначені розчини. Зафіксувати час початку досліді.
3. Зважування повторювати кожні 5 хвилин (виймаючи шматочки м'яса з розчинів і протираючи їх без натиску фільтрувальним папером). Результати кожного зважування заносити до таблиці.
4. Розрахувати масу м'язової тканини у відсотках до вихідної, прийнятої за 100%.
5. Результати занести до таблиці та побудувати графік залежності маси (у %) від часу перебування тканини у відповідному розчині.

Час від початку досліді, хв	Маса шматочків м'яса, г					
	1		2		3	
	у дистильованій воді		у фізіологічному розчині		у розчині оцтової кислоти	
	г	%	г	%	г	%
0		100		100		100
5						
10						
15						
20						
25						
30						

Дати визначення явищам, які відбуваються з досліджуваним матеріалом під час досліді:

Дифузія – _____

Шляхи передачі нервового імпульсу	Механізм передачі нервового імпульсу
	<p>Схема процесу передачі нервового сигналу в хімічному синапсі</p>
	<p>Схема будови електричного синапсу</p>
	<p>Етапи поширення збудження у немієлізованому нервовому волокні</p>
	<p>Етапи поширення збудження у мієлізованому нервовому волокні</p>

2. Дати визначення гемолізу еритроцитів як прикладу руйнування біологічної мембрани. Описати види гемолізу, заповнивши таблицю.

Види гемолізу	Опис	Причина
Механічний		
Осмотичний		
Хімічний		
Термічний		
Біологічний		

Контрольні питання:

1. Що таке сила осмотичного тиску на біологічні мембрани? Чому вона дорівнює?
2. У чому полягає осмотична робота у біологічних системах?
3. Що таке осмотична енергія іона або молекули?

Лабораторне заняття №9

ТЕМА: **Біомеханіка**

Мета: сформувані уявлення про біомеханіку, як розділ біофізики, що вивчає механічні властивості тканин та органів; розглянути будову м'яза та фізичні параметри, що характеризують його функціонування; з'ясувати механізм м'язового скорочення; навчитися розв'язувати типові задачі з біомеханіки.

Теоретичні питання:

1. Будова м'язового волокна.
2. Скорочення м'язів.
3. Механічні властивості м'язів.
4. Потужність і швидкість скорочення м'язу.

Визначити основні поняття:

Біомеханіка, м'язове волокно, міофібрили, саркомер, ізометричний (підтримуючий) режим роботи м'язів, ізотонічний режим роботи м'язів, ауксотонічний (змішаний) режим роботи м'язів, пружність м'язів, пружна деформація м'яза, сила пружності м'яза, механічна напруга м'яза, відносне видовження м'яза, коефіцієнт Юнга (модуль пружності), закон Гука, коефіцієнт жорсткості, рівняння Хілла, загальна потужність м'яза, корисна потужність м'яза.

Обґрунтування теми: людство здавна використовувало м'язову силу для виконання різних видів робіт. М'язова тканина за своїми механічними властивостями належить до еластомірів, тобто володіє здатністю скорочуватися, розтягуватися та пружинити. Сила, що розвивається м'язами людини й тварин, а значить і робота, що ними виконується, залежить як від морфологічних властивостей, так і від фізіологічного стану. Наприклад, довгі м'язи

скорочуються більше, ніж короткі. При великих розтягненнях скорочення м'язів зменшується, а при помірних скорочуючий ефект збільшується.

Після припинення дії зовнішньої сили м'яз відновлює свої розміри, але це відновлення не буває повним, що в певній мірі характеризує пластичність м'язів. Тобто, м'яз не є абсолютно пружним тілом, а має в'язкопружні властивості.

У зв'язку з цим вивчення силових та енергетичних параметрів м'язового скорочення має важливе значення для різних галузей біології.

Мета заняття: навчитися визначати силу й роботу при м'язовому скороченні.

Теоретичні відомості

Силу, що розвивається м'язом, визначають за величиною навантаження, яке він може підняти, або за максимальною напругою, яка виникає при його ізометричному скороченні.

Оскільки м'язи мають скорочувальні й еластичні елементи, то напруга, що виникає, й робота, яка виконується, обумовлені не тільки активним скороченням скорочуючого комплексу, але й пасивною напругою, що визначається еластичністю або, так званим, послідовним пружним компонентом м'яза. За рахунок цього компоненту робота здійснюється тільки у тому випадку, якщо м'яз був попередньо розтягнутим, і величина цієї роботи пропорційна величині розтягнення м'яза. Цим пояснюється те, що найбільш потужні рухи здійснюються при великій амплітуді, що забезпечує попереднє розтягнення м'яза.

При однакових умовах сила м'язів залежить від їх поперечного перерізу (чим більший поперечний переріз м'яза, тим більший вантаж він може підняти). Необхідно також підкреслити, що сила м'яза з косими волокнами набагато більша, ніж сила м'яза тієї ж товщини, але з поздовжніми волокнами. Крім цього, сила, що розвивається м'язом при максимальному скороченні, залежить і від фізіологічних умов: віку, тренування, живлення, стану втоми тощо.

Абсолютною м'язовою силою називається сила, що припадає на одиницю площі поперечного перерізу м'язових волокон, які утворюють м'яз (у зв'язку з особливістю будови деяких м'язів це не завжди співпадає з поперечним перерізом самого м'язу). Абсолютна м'язова сила вимірюється в Н/см². Наприклад, триголовий м'яз плеча розвиває абсолютну м'язову силу 170 Н/см², двоголовий – 110 Н/см², жувальний – 60 Н/см², гладкий – 10 Н/см².

Діяльність м'язів оцінюють по виконуваній ними зовнішній механічній роботі. У найбільш простому вигляді – піднімання вантажу – робота м'язів вимірюється добутком сили, що дорівнює вазі навантаження, на величину скорочення м'язів: $A = F \cdot S$, де

A – робота м'яза,

F – вага вантажу (сила),

S – скорочення м'яза (відстань, на яку дана сила перемістить вантаж).

У цьому випадку напрямок переміщення вантажу такий же, як і напрям сили.

Робота м'яза зростає при зростанні маси вантажу. Але після досягнення певної величини вантажу робота починає зменшуватися. Коли м'яз не може підіймати вантаж, робота дорівнює нулю. Найбільша робота виконується під час підняття середнього для цього м'яза вантажу – *закон середніх навантажень*.

Робота буває динамічною або статичною. При статичній роботі м'язи перебувають у постійній напрузі, але не скорочуються (утримання вантажу). Динамічна робота м'язів супроводжується почерговими скороченнями і розслабленнями м'язів (біг, ходіння, плавання, різні гри). Статична робота більш втомлива ніж динамічна.

Потужність м'яза N визначається як добуток сили P на швидкість скорочення v за формулою $N = P \cdot v$ або як відношення роботи до одиниці часу – $N = A/T$. Вимірюють потужність у кг•м/с, кг•м/хв.

Важливою характеристикою м'язів є втома. Основною причиною втоми є недостатнє постачання м'язів киснем, зменшення утворення енергії, накопичення продуктів розпаду. Але з фізіологічного погляду втома — це корисне явище. Після закінчення роботи, яка зумовила втому, під час відпочинку відбувається не тільки відновлення працездатності м'язів, а навіть їх збільшення.

Завдання. Вимірювання сили стиску кисті за допомогою динамометра.

Мета: визначити максимальну довільну силу за допомогою кистьової динамометрії.

Сила – це здатність протидіяти зовнішньому опору. Визначають силу м'язів за максимальною напругою в ізометричному режимі за допомогою динамометра.

Порядок виконання роботи:

1. Посадити піддослідного на стілець.
2. Піддослідний витягує руку вперед і максимальною силою стискає динамометр.
3. Визначити силу стискання кисті тричі кожною рукою.
4. Визначити середнє арифметичне і дані записати у таблицю.
5. Розрахувати силовий показник за формулою:

$$\text{СП} = \text{Максимальна сила} / \text{Вага тіла}$$

6. Зробити висновок про силу м'язів лівої та правої руки. Звернути увагу на відповідність максимальної сили вазі тіла.

№ спроби	М'язова сила, кг			
	Права рука		Ліва рука	
	абсолютний показник	силовий показник	абсолютний показник	силовий показник
1				
2				
3				
Середнє значення				

Висновок: _____

Самостійна робота

Задача 1. Відомо, що люди похилого віку частіше ламають кістки, навіть при падінні з мінімальної висоти. Крихкість кісток, яка прогресує з віком, є однією з причин такої статистики. Проте міцність кісток за період між 25 і 75 роками зменшується приблизно на 20%, що значно менше рівня зростання переломів у людей похилого віку. Яка друга причина того, що люди похилого віку частіше ламають кістки?

Задача 2. Знайти роботу, яку виконує спортсмен при розтягуванні пружини еспандера на $l = 70$ см, якщо відомо, що при зусіллі $F = 10$ Н еспандер розтягується на $\Delta l = 1$ см. Використовуйте для розрахунку закон Гука.

Задача 3. Потік крові у м'язах при фізичному навантаженні може зростати у 70–100 разів порівняно зі станом спокою. З чим це пов'язано? Яким механізмом в основному це забезпечується?

Контрольні питання:

1. Охарактеризуйте механічні властивості м'язової тканини.
2. Поясніть, як актин-міозинова система м'язу сприяє біологічній перебудові хімічної енергії в механічну роботу. Завдяки чому м'язи можуть запасати енергію пружної деформації, що відображується на якості руху?
3. Яка залежність між швидкістю, точністю рухів та складом моторних одиниць м'язового волокна?
4. Які відмінності між механічними моделями та у механічній поведінці гладких та поперечно-посмугованих м'язів? Відповідь обґрунтуйте.
5. Поясніть, чому м'язовий двигун характеризується, як двигун хемо-динамічний?
6. Опишіть механізм м'язового скорочення. Як можна збільшити напругу при скороченні м'язу?
7. Що таке ізотонічне та ізометричне скорочення м'язу? В чому полягають відмінності між ними?
8. Охарактеризуйте анатомо-фізіологічні фактори, які визначають механічні властивості м'язів.
9. У чому полягає принцип Вебера та принцип Бернуллі м'язової механіки?
10. Яка міцність кісток і м'язів?
11. Охарактеризуйте режими роботи м'язів та ККД їх роботи.
12. За яких умов скорочення м'язів є найбільш ефективним? Відповідь обґрунтуйте аналітично.
13. У якому режимі м'язового скорочення проявляється максимальна сила? Як це пов'язано з небезпекою отримання травм?
14. За якої умови досягається найбільша потужність м'язового скорочення?
15. Обґрунтуйте явища синергізму і антагонізму у груповій взаємодії м'язів. Поясніть, у чому полягає різниця між дією одно- та багатосуглобних м'язів, у чому позитивізм та негативізм м'язової координації за Бейером.
16. Чому високо в горах робота суглобів порушується: кінцівки погано слухаються, частішають вивіхи?

Лабораторне заняття №10

ТЕМА: *Фізичні основи біореології та гемодинаміки*

Мета: Сформувані уявлення про біореологію як науку про фізичні властивості біологічних рідин та гемодинаміку як розділ біомеханіки, що вивчає рух крові у серцево-судинній системі. Навчитися досліджувати основні характеристики гемодинаміки: вимірювати артеріальний тиск, визначати серцевий викид крові та загальний периферійний опір у людини при різних її навантаженнях.

Теоретичні питання:

1. Основні поняття біореології та гемодинаміки
2. Склад крові. Фізичні властивості та показники крові.
3. Система кровообігу людини. Рух крові по судинах.
4. Тиск крові. Методи вимірювання.
5. Серце як механічна система. Елементи біомеханіки серця. Робота серця.

Визначити основні поняття:

Реологія, біореологія, в'язкість рідини (внутрішнє тертя), абсолютна в'язкість рідини, кінетична в'язкість рідини, неньютонівська рідина, ньютонівська рідина, ламінарна течія, турбулентний режим, гемодинаміка, швидкість крові, об'ємна швидкість крові, лінійна швидкість крові, тиск крові, систолічний тиск, діастолічний тиск, пульсовий тиск, загальний периферичний опір, пульсова хвиля.

Практична робота

Обладнання: тонометри (сфігмоманометри), секундоміри.

Теоретичні відомості

Фізичною основою гемодинаміки є гідродинаміка. Течія крові в судинах залежить як від властивостей крові, так і від властивостей кровоносних судин.

До системи кровообігу відносяться: серце, яке виконує функцію насоса, і периферичні кровоносні судини (артерії, вени і капіляри). Кров, що викидається серцем, розноситься тканинам через артерії, артеріоли (дрібні артерії) і капіляри, а потім повертається до серця через дрібні вени (венули) і великі вени. Стінки артерії складаються з трьох шарів. Під м'язовими шарами проходять нерви. Подразнення нервів призводить до скорочення гладких м'язів і звуження судин. Діаметр кровоносних судин і тканинний їх склад різні залежно від типу судини. В стінках артерій більше еластичної тканини і менше колагенових волокон, ніж у стінках вен. Стінки вени, навпаки, більш багаті на колагенові волокна, ніж на еластичні (колагенові волокна не мають пружності, вони здатні розтягуватися). Капіляри мають ендотеліальний шар, але в їх стінках немає м'язової і сполучної тканини, тому вони відносно пасивні.

Кров, після викиду її з серця, здійснює на стінки судин тиск. Існує градієнт тиску, який спрямовано від артерії до артеріол і капіляр і від периферійних вен – до центральних, через що кров'яний тиск зменшується в такому напрямку: аорта → артеріоли → капіляри → венули → великі вени → порожнисті вени. Саме завдяки цьому градієнту кров тече від серця до артеріол, потім до капілярів, венул, вен, і назад – до серця. У судинах через тиск крові з'являється опір.

Основними величинами, які визначають стан кровоносної системи є: **об'ємна швидкість кровотоку, артеріальний тиск і периферійний опір.**

Усі ці величини знаходяться між собою у взаємозв'язку і взаємозалежності, які визначаються **законом Пуазейля**, згідно з яким:

$$P = Q \cdot R, \quad \text{де}$$

P – артеріальний тиск, мм рт.ст.;

Q – об'ємна швидкість кровотоку (мл/хв);

R – периферійний опір, дін.с.см⁻⁵).

Об'ємна швидкість кровотоку – кількість крові, що проходить через кров'яне русло за одиницю часу (**систолічний об'єм крові** (CO, мл/систолу) – це кількість крові, яка викидається лівим шлуночком в аорту за 1 систолу; **хвилинний об'єм крові** (ХОК, мл/хв) – це кількість крові, яка викидається шлуночками за 1 хвилину). Хвилинний об'єм крові або серцевий викид (СВ) залежить від наступних фізіологічних чинників: кількості крові, яка тече до правого передсердя, нагнітальної функції серця, яка визначається скорочувальною здатністю міокарда, та загальним периферійним опором (ЗПО).

Ефективність серця, як насоса, визначається тим, у якому обсязі воно спроможне перекачувати об'єм крові, який надходить за системою порожнистих вен. У нормальних умовах серце за 1 хв перекачує 5–6 л крові. Підвищення ЗПО при інших однакових умовах призводить до зниження серцевого викиду. Чинники, які підвищують частоту скорочень серця (фізичне навантаження, емоційне збудження тощо), як правило, підвищують і СВ. На серцевий викид впливають захворювання і порушення, при яких зменшується приплив крові до серця через вени. Також СВ знижується при ослабленні серця (наприклад, при стійкій серцевій недостатності).

Під **артеріальним тиском** (АТ) розуміють тиск, який здійснює кров на внутрішню поверхню артерій і на стовп крові. АТ залежить від притоку крові в артеріальну систему, від еластичності судинних стінок, від в'язкості крові і ще від багатьох інших чинників. АТ є величиною, яка утворюється і регулюється, в основному, лише внаслідок зміни СВ і ЗПО.

Розрізняють систолічний (максимальний) і діастолічний (мінімальний) артеріальний тиск. **Систолічний артеріальний тиск** – це тиск, який виникає в артеріальній системі після систоли лівого шлуночка серця, тобто в момент максимального підйому пульсової хвилі. **Діастолічний артеріальний тиск** – виникає в період діастоли серця, коли має місце спад пульсової хвилі.

Різниця між величинами максимального і мінімального тиску називається **пульсовим тиском** (ПТ).

Підвищені величини АТ (гіпертонія) спостерігаються при багатьох захворюваннях: гіпертонічна хвороба, пухлина кори наднирників тощо. В цих випадках систолічний АТ може підніматися до 200–250 і вище мм рт.ст., діастолічний – до 120–160 мм рт.ст.

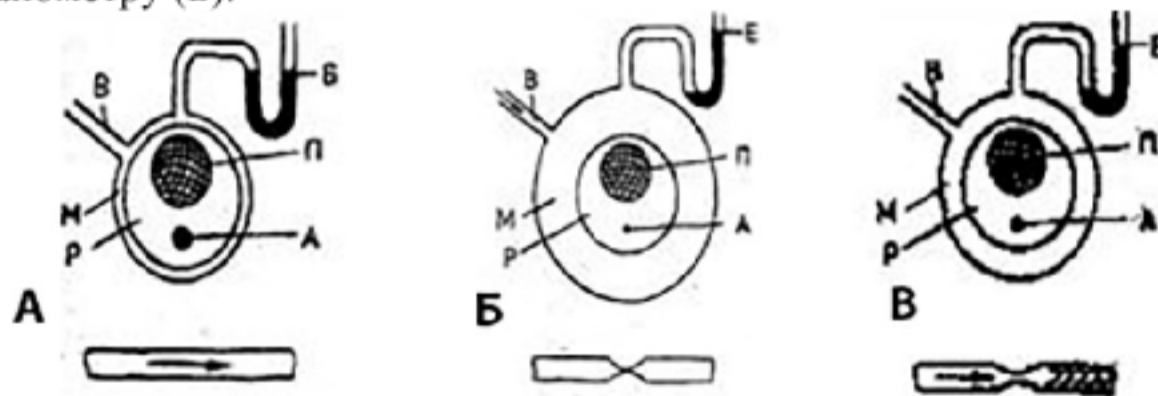
Стійкий високий діастолічний тиск свідчить про підвищення тону артеріол, що відбувається при гіпертонічній хворобі. Зниження АТ має назву гіпотонії. Спостерігається при шоці, при різних інтоксикаціях тощо. Короточасний підйом АТ (*гіпертензія*) до максимального може спостерігатися у здорових людей після надмірного переїдання, при великих фізичних і розумових навантаженнях, при психічному збудженні (стресі), після прийому алкоголю, кави, міцного чаю. Раптова артеріальна *гіпотензія* спостерігається при інфаркті міокарда, колапсі, сильних кровотечах та ін. Падіння АТ пов'язано зі зниженням тону артеріол і ще більше він знижується при слабкості серцевого м'язу. АТ вимірюють з метою оцінки стану судинної системи як у хворих, так і у здорових людей. Таким чином, спостереження про величину АТ відіграє важливу роль у своєчасному виявленні того чи іншого захворювання.

Загальний периферійний опір є функцією кровоносних судин, яка спрямована на регуляцію і розповсюдження кровотоку по організму і різним органам шляхом збереження оптимального рівня АТ. Потік крові на своєму шляху відчуває силу тертя, яка є максимальною на ділянці артеріол і створює в цьому місці опір. Артеріоли є основними регуляторами ЗПО. Так, при великому фізичному навантаженні, коли серцевий викид підвищується в декілька разів, тиск крові підвищується в меншій пропорції через підвищену пропускну здатність артеріоли. В нормі ЗПО коливається в межах 1200–1600 дін.с.см⁻⁵. При гіпертонії ця величина може збільшитися до 2000–3000 дін.с.см⁻⁵. Показник ЗПО має істотне значення, бо визначає навантаження на міокард лівого шлуночка, і з рештою – на умови і рівень метаболізму.

1. Вимірювання артеріального тиску.

Систолічний і діастолічний АТ у будь-якій артерії можуть бути виміряні безпосередньо за допомогою голки, яка з'єднана з манометром. Однак у медицині широко використовують безкровний метод, який запропоновано Н.С. Коротковим.

Розглянемо фізичні основи цього методу на прикладі вимірювання тиску крові в плечовій артерії. Навколо руки між плечем і ліктем накладають манжету. При накачуванні повітря через шланг (В) в манжеті рука затискається. Потім через цей шланг повітря випускають за допомогою манометру (Б).



Фізичне обґрунтування визначення АТ через сфігмоманометр (М – манжета, Р – рука, П – плечова кістка, А – плечова артерія)

Розглянемо процес вимірювання тиску повітря в манжеті. Спочатку надлишковий над атмосферним тиск в манжеті дорівнює 0 (рис., А), манжета не стягує руку і артерію. При накачуванні повітря в манжету остання стискує артерію і припиняє рух крові (рис., Б). Якщо мускулатура розслаблена, то тиск повітря всередині манжети, яка складається з еластичних стінок, є приблизно таким як тиск у м'яких тканинах, які стискаються манжетною. В цьому і полягає основна фізична ідея безкровного методу вимірювання тиску.

Випускаючи повітря, зменшують тиск у манжеті і в м'яких тканинах. Коли тиск буде дорівнювати систолічному, кров буде здатна пробитися через стиснуту артерію – виникає турбулентна течія (рис., В). Характерні тони і шуми, які супроводжують цей процес, можна прослуховувати при вимірюванні тиску, розташовуючи прилад на артерії дистально по відношенню до манжети (тобто на більшій відстані від серця).

Продовжуючи зменшувати тиск крові в манжеті, можна поновити ламінарну течію крові, що помітно по різкому послабленню тонів, що прослуховуються. Тиск у манжеті, який відповідає відновленню ламінарної течії в артерії, реєструють як діастолічний.

За значеннями систолічного і діастолічного тисків знаходять значення пульсового тиску за формулою:

$$ПТ = СТ - ДТ$$

2. Визначення серцевого викиду.

Серцевий викид є важливим показником гемодинаміки і заснований на використанні принципу Фуко, згідно з яким:

$$СВ (л/хв) = \text{загальне споживання організмом } O_2 (мл/хв) / (АртO_2 - ВенO_2) (мл/л)$$

Принцип Фуко заснований на припущенні, що об'єм крові, який викидається лівим шлуночком в аорту, повинен дорівнювати кількості крові, яка протікає за хвилину через легені. Тому для визначення серцевого викиду за Фуко необхідно мати дані про споживання O_2 легенями (що отримують шляхом *спірографії*) і проби крові з артерії і вени (що визначають у лабораторних умовах).

У зв'язку з неможливістю широко використовувати лабораторні методи визначення систолічного (СО) і хвилинного (ХОК) об'ємів крові різні дослідники на основі експериментальних даних вивели формули для їх розрахунку.

Широке застосування отримала **формула Старра**, розрахункові дані за якою, як встановлено, добре співпадають з даними, які отримані класичними методами:

$$СО = (100 + 0,5ПТ) - 0,6ДТ - 0,6В, \quad \text{де}$$

В – вік досліджуваної людини.

Знаючи значення систолічного об'єму крові СО (мл/систолу), можна розрахувати хвилинний об'єм крові ХОК (мл/хв) за формулою:

$$ХОК = СО \cdot ЧСС, \quad \text{де}$$

ЧСС – частота серцевих скорочень за хвилину (пульс).

Завдання 1. Розрахувати значення власного систолічного та хвилинного об'ємів крові.

Порядок виконання роботи:

1. Студенти розбиваються по парам (один виступає в ролі піддослідного, інший – в ролі дослідника, потім ролі міняються).
2. Студент-дослідник проводить дослідження усіх гемодинамічних характеристик у студента-піддослідного до фізичного навантаження, а саме:
 - вимірює систолічний та діастолічний тиск;
 - визначає частоту серцевих скорочень за 1 хв, для чого число ударів за 10 с помножує на 6 (ця величина використовується для розрахунку хвилинного об'єму крові);
 - розраховує пульсовий тиск, систолічний об'єм крові та хвилинний об'єм крові.
3. Отримані дані записати у таблицю.
4. Студент-піддослідний виконує фізичні навантаження (наприклад, 20 присідань).
5. Студент-дослідник проводить дослідження усіх гемодинамічних характеристик у студента-піддослідного після фізичного навантаження (ті ж, що у пункті 2).
6. Отримані дані записати у таблицю.
7. Зробити висновок про вплив фізичних навантажень на основні гемодинамічні показники.

	Гемодинамічний показник				
	Систолічний тиск, мм рт.ст.	Діастолічний тиск, мм рт.ст.	Пульсовий тиск, мм рт.ст.	Систолічний об'єм крові, л/систолу	Хвилинний об'єм крові, л/хв
Норма	100–120	60–80	40–50	0,04–0,09	3–6
I студент (до фізичного навантаження)					
I студент (після фізич. навантаження)					

II студент (до фізичного навантаження)					
II студент (після фізичного навантаження)					

Висновок: _____

Завдання 2. Метод самооцінки деяких фізичних станів людини.

Адаптаційний потенціал організму оцінюється за методом, запропонованим Р.М. Баєвським із співавторами (1988). Система кровообігу слугує індикатором адаптаційного потенціалу організму – запасом пристосувальних можливостей, які забезпечують розвиток і перебіг захисних реакцій. Перехід від здоров'я до хвороби, від норми до патології представляє собою процес поступового зниження ступеня адаптації організму до умов навколишнього середовища (зменшення адаптаційного потенціалу). Для визначення адаптаційного потенціалу системи кровообігу запропонована така формула:

$$AP = 0,011 \cdot ЧСС + 0,014 \cdot СТ + 0,008 \cdot ДТ + 0,014 \cdot В + 0,009 \cdot М - 0,009 \cdot З - 0,27, \quad \text{де}$$

- АП – адаптаційний потенціал (в балах);
- ЧСС – частота серцевих скорочень за 1 хв.;
- СТ – систолічний артеріальний тиск;
- ДТ – діастолічний артеріальний тиск;
- В – вік (кількість років);
- М – маса тіла (кг);
- З – зріст (см).

За допомогою цієї формули забезпечується розпізнання функціональних станів у 71,8% спостережень.

Для визначення функціонального стану використовується така шкала:

- 1) задовільна адаптація – не більше 2,1 бала;
- 2) напруга механізмів адаптації – 2,11–3,2 бала;
- 3) незадовільна адаптація – 3,21–4,3 бала;
- 4) зрив адаптації – 4,31 бала і більше.

Висновок: _____

Контрольні питання:

1. Що таке гемодинаміка?
2. Які показники характеризують стан судинної системи?

3. Що визначає закон Пуазейля?
4. Що таке серцевий викид? Як його визначають?
5. Що таке артеріальний тиск? Як його вимірюють?
6. Фізичне обґрунтування вимірювання артеріального тиску.
7. Що таке загальний периферійний опір? Як його визначають?

Лабораторне заняття №11–12

ТЕМА: *Основи біоакустики та фотобіології*

Мета: з'ясувати фізичні механізми утворення та сприйняття звуків, ознайомитися з особливостями фізіологічної оптики.

Теоретичні питання:

1. Утворення звуків тваринами.
2. Фізична модель органу слуху ссавців.
3. Вплив ультразвуку та інфразвуку на живі організми.
4. Оптична система ока людини.
5. Фоторецепція у тварин.
6. Кольоровий зір у тварин.
7. Основні закони геометричної оптики. Медичні прилади, які функціонують на основі геометричної оптики: лінзи, мікроскопи, рефрактометри.
8. Поглинання і розсіювання світла. Фотоелектроколориметри, спектрофотометри.
9. Властивості лазерного випромінювання. Лазерне обладнання в медицині та фармації.
10. Біофізичні особливості сприйняття нюху, смаку та дотику.

Визначити основні поняття:

Склера, рогівка, сітківка, кришталік, райдужна оболонка, родопсин, йодопсин, дальтонізм, гострота зору, акомодация, діоптрії, фасеткові очі, аматидії, міопія, гіперміопія, астигматизм, бінокулярний і монокулярний зір, звукова хвиля, частота звуку, ультразвук, період звуку, довжина звукової хвилі, швидкість поширення звукової хвилі, інтенсивність звукової хвилі, сила звуку, процес згасання звукової хвилі, коефіцієнт згасання, дифракція, інтерференція, акустичний опір, літотрипсія, ехоенцефалографія, ехокардіографія, ехотомографія.

Практична робота

Завдання 1. *Визначення гостроти зору.*

Обладнання: Два олівці, хустинка.

Роботу виконують удвох.

1. Кожному учаснику досліду взяти по одному олівцю. Перший учасник досліду закриває око хустинкою.
2. Другий учасник досліду тримає олівець одним кінцем вгору на відстані 40–50 см від ока першого.
3. Перший, із зав'язаним оком, повинен кінчиком свого олівця доторкнутись до кінчика олівця другого.
4. Відстань від ока до олівця змініть і дослід повторіть. Результати досліду запишіть в таблицю. Кількість правильних визначень поставте під знаком «+», а кількість неправильних визначень – під знаком «-».
5. Цей же дослід повторіть при розв'язаному оці, тобто з двома відкритими очима. Результати запишіть.
6. Поміняйтесь ролями, тобто зав'яже одне око другий учасник досліду, потім з двома відкритими очима проводять дослід.
7. Зробіть висновок про значення парного органу зору.

Дослідний	Відстань від ока, см				
	50	40	30	20	10
1, з закритим оком					
1, з відкритими очима					
2, з закритим оком					
2, з відкритими очима					

Висновок: _____

Завдання 2. *Визначення найменшої відстані зору.*

Обладнання: книжка, лінійка.

1. Закрийте одне око, до другого ока наближайте книжку з дрібним шрифтом до того моменту, поки ще можна читати.
2. За допомогою лінійки з поділками визначте цю найменшу відстань, на якій бачите текст книжки. Результат запишіть у зошит.
3. Для нормального ока ця найменша відстань дорівнює 10–13 см. Якщо відстань більша, то це вказує на далекозорість ока.
4. Нормальна відстань для читання – 30–35 см. За допомогою лінійки визначте цю відстань, запам'ятайте, як треба тримати голову, щоб дотримуватись цієї норми.
5. Зробіть висновок про кількість правильних і неправильних визначень відстані. З'ясуйте найменшу відстань, при якій розрізняєте текст книжки: одним оком, двома очима.

Висновок: _____

Завдання 3. *Зір двома очима.*

Обладнання: картинка, картонний папір.

1. Поставте сірникову коробку на стіл вузьким боком до себе на відстані 40–50 см.
2. Закриваючи по черзі то одне око, то друге, простежте різницю бачення правим і лівим оком окремо.
3. Ця особливість різного бачення правим і лівим оком створює уявлення об'ємності предмета, стереоскопічність бачення («стерео» – об'ємний, «скопео» – бачу).



4. Візьміть картонку 10×10 см і, притримуючи її, поставте між першим і другим малюнками, які зображені, перпендикулярно до площини паперу.
5. Дивитись треба правим оком на правий малюнок, а лівим на лівий, встановивши очі так, як ніби розглядавсь б віддалений предмет. Два зображення стануть насуватись одне на друге до злиття їх в одне. У цьому випадку побачите через 5, 10, 15 секунд стереоскопічний образ.
6. Зробіть висновок, що було видно (підписати малюнки), та запишіть висновок.

Висновок: _____

Завдання 4. Виявлення сліпої плями на сітківці ока.

У полі зору кожного ока є зона, у якій відсутнє зорове сприйняття – це *сліпа пляма*. Сліпа пляма розташована у місці виходу зорового нерва з ока через склеру. Саме ця ділянка не містить фоторецепторів і не чутлива до світла.

Для виявлення сліпої плями досліджуваний закриває лівою рукою ліве око. Зображення слід тримати у витягнутій правій руці і повільно наближати її до правого ока. При цьому дивитися тільки на ліве зображення (крапку). На відстані 20–25 см від ока сніговичок «загубить» голову. Зробіть висновок.



Завдання 5. Дослідження сприйняття звуку з повітря.

Піднесіть камертон, що звучить, до вуха і тримайте на відстані 0,5 см від вушної раковини. Одночасно за допомогою секундоміра відмітьте час, протягом якого обстежуваний чує звук. Щоб уникнути адаптації, камертон то віддаляють (50 см), то наближають до вуха. Вивчіть сприйняття звуку окремо для кожного вуха (під час дослідження одного вуха, друге щільно затуляють пальцем).

Виявіть та порівняйте швидкість сприйняття звукових подразнень при проведенні їх через повітря та кістки черепа. Для цього піднесіть камертон, що звучить, брашною до вуха і тримають на відстані 0,5 см від вушної раковини. Одночасно за допомогою секундоміра відмітьте час, протягом якого досліджуваний чує звук. Вивчіть сприйняття звуку окремо для кожного вуха (під час дослідження одного вуха, друге щільно затуляють пальцем). Для дослідження сприйняття звуку з кістки камертон, що коливається, торцем ніжки прикладіть до соскового відділу вискової кістки. Відмітьте час, протягом якого чути звук.

Висновок: _____

Завдання 6. Визначити гостроту слуху та напрямок звуку.

Для цього обстежуваний повільно підходить до столу, де лежить годинник і визначає відстань, з якої чути цокання. Це є показчик гостроти слуху. При закритих очах обстежуваний повинен визначити напрямок з якого чути цокання годинника. Точність напрямку визначають в сантиметрах.

Висновок: _____

Самостійна робота

Підготувати повідомлення (мультимедійну презентацію та доповідь) на тему:

- Вікові особливості будови та функціонування слухового аналізатора людини.
- Ехолокація у тварин (комах, кажанів, дельфінів).
- Інфразвук (джерела, особливості поширення, фізіологічна дія, використання в медицині).

- Музичний слух та його види.
- Абсолютний слух, види та розвиток абсолютного слуху.
- Шум та його види. Вплив шуму на організм людини.
- Ультразвукова терапія.
- Вади слуху, класифікація та причини виникнення.
- Слухові галоцинації.
- Утворення голосу людини.
- Вплив на організм людини музики та звуків природи.
- Вплив на організм людини сучасних джерел звуку: навушників, мобільних телефонів.
- Поширення звуків у воді та повітрі. Акустична комунікація тварин.
- Особливості зорового аналізатора людини.
- Основні елементи зорового аналізатора у різних тварин.
- Дефекти зору та їх корекція.
- Фізичні основи функціонування лазерної техніки. Класифікація лазерів. Лазерна фотомедицина.
- Норма та патологія сприйняття запаху та смаку у людини.

Контрольні питання:

1. Які характеристики оптичного випромінювання впливають на тварину?
2. Охарактеризувати особливості зорового аналізатора у комах.
3. Дати характеристику відмінних особливостей зорового аналізатора риб.
4. Які функції гребінця в зоровому аналізаторі птахів?
5. Дати характеристику відмінних особливостей зорового аналізатора коня.
6. Назвати основні фоторецепторні клітини та зорові пігменти.
7. Пояснити особливості кольорового зору у тварин.
8. Що таке область зору у тварини?
9. Що називається найменшим кутом зору?
10. Сформулювати критерій Релея.
11. Пояснити, що таке акомодация ока.
12. Назвати та пояснити основні дефекти зору.
13. Навести і охарактеризувати основні методи лазерної фотомедицини.

Індивідуальне або групове завдання на тему «Фізичні методи аналізу»

Розробити проєкт до теми. Розробити наочність: мультимедійна презентація, моделі, картки тощо.

- Дія електромагнітного поля на організм.
- Вивчення магнітних властивостей біооб'єктів. Біомагнетизм.
- Імпульсний та змінний струми.
- Механічні моделі біологічних об'єктів.
- Магнітотерапія. Застосування електронно-парамагнітного резонансу у медицині і біології.
- Високочастотні електромагнітні поля та живий організм
- Рентгенівські методи. Рентгеноструктурний аналіз. Природа і властивості рентгенівського випромінювання. Види рентгенівських спектрів. Методи і апаратура для рентгеноструктурного аналізу. Інтерпретація рентгенограм. Ідентифікація кристалічних речовин.
- Електронний парамагнітний резонанс. ЕПР-спектрометри. Спектри ЕПР та їх інтерпретація. Ширина та форма спектральних смуг. Надтонка та супернадтонка структура ліній.
- Ядерний магнітний резонанс. ЯМР-спектрометри. Спектри ЯМР та їх інтерпретація. ЯМР високого та низького розділення. Релаксація магнітного моменту ядра. Хімічний зсув спектральних ліній. Розщеплення ліній.
- Дослідження радіоактивних препаратів. Фармацевтичні радіоактивні препарати.
- Радіометрична перевірка препаратів на ідентичність, чистоту та дієвість.
- Люмінесцентні методи дослідження. Люмінесценція. Механізм виникнення люмінесценції. Методи фотолюмінесценції, електролюмінесценції, катодолюмінесценції, хемілюмінесценції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Архангельская Ю.С. Модуль «Клетка». Биофизика / Ю.С. Архангельская. – М.: Человек, 2011. – 144 с.
2. Берман Г.Н. Биофизика: Учебное пособие / Г.Н. Берман. – СПб.: Лань, 2012. – 240 с.
3. Біофізика: підручник / П.Г. Костюк, В.Л. Зима, Ш.С. Магура та ін. — К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет» 2008. – 567 с.
4. Биофизика: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений / В.Ф. Антонов, А.М. Черныш, В.И. Пасечник и др. – Гуманит. изд. Центр ВЛАДОС, 1999. – 288с
5. Біофізика і біомеханіка: підручник / В.С. Антонюк, М.О. Бондаренко, В.А. Ващенко, Г.В. Канашевич, Г.С. Тимчик, І.В. Яценко. – Київ: Політехніка, 2012. – 344 с.
6. Волькенштейн М.В. Биофизика: Учебное пособие / М.В. Волькенштейн. – СПб.: Лань, 2012. – 608 с.
7. Григор'єва Л.І. Основи біофізики і біомеханіки: навч. посіб. / Л.І. Григор'єва, Ю.А. Томілін; Чорномор. держ. ун-т ім. Петра Могили. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. – 297 с.
8. Деркач М.П. Основи біофізики / М.П. Деркач. – Вид-во Львівського ун-ту, 1967. – 278 с.
9. Джексон, М.Б. Молекулярная и клеточная биофизика / М.Б. Джексон. – М.: Бином, 2015. – 551 с.
10. Ємчик Л.Ф. Медична і біологічна фізика: підруч. / Л.Ф. Ємчик, Я.М. Кміт. – Л.: Світ, 2003. – 591 с
11. Журавлев А.И. Квантовая биофизика животных и человека: Учебное пособие / А.И. Журавлев. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. – 398 с.
12. Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика: сверхнизкочастотные электромагнитные излучения. Уч. для вузов. / Ю.Б. Кудряшов, А.Б. Рубин. – М.: Физматлит, 2014. – 216 с.
13. Мельниченко Р.К. Біологія (профільний рівень): робочий зошит для лабораторних і практичних робіт, організації лабораторного практикуму для 10-го класу / Р.К. Мельниченко, Б.В. Гамза. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2017. – 83 с.
14. Плутахин Г.А. Биофизика: Учебное пособие / Г.А. Плутахин, А.Г. Коцаев. – СПб.: Лань, 2012. – 240 с.
15. Посудін Ю.І. Біофізика рослин. Підручник. – Вінниця: Нова Книга, 2004. – 256 с.
16. Посудін Ю.І. Фізика з основами біофізики: Підручник. – Київ, Світ, 2003. – 400 с.
17. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: Учеб. для мед-спец. вузов. – 3е изд. испр. – М.: Высш. Школа, 1999. – 616 с.
18. Рубин А.Б. Биофизика. В 2-х томах / А.Б. Рубин. – М.: МГУ, 2004. – 917 с.
19. Сон К.Н. Биофизика: Учебное пособие / К.Н. Сон, В.И. Родин, Э.В. Бесланеев. – СПб.: Лань П, 2016. – 608 с.
20. Трухан Э.М. Введение в биофизику: Учебное пособие. – М.: МФТИ, 2008. – 242 с.
21. Медична та біологічна фізика: підручник для студ. вищих мед.(фарм.) навч.заклад. / [О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін.]; за ред. проф. О.В. Чалого. – Вид. 2-ге. – Вінниця: Нова книга, 2017. – 528 с.
22. Черныш А.М. Физика и биофизика: Учебник / В.Ф. Антонов, А.М. Черныш, Е.К. Козлова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. – 472 с.

Навчальне видання

РОБОЧИЙ ЗОШИТ
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З БІОФІЗИКИ

Укладачі:

СРМОШИНА Тетяна Вікторівна

ПЕРШКО Ірина Олександрівна

ВАСІЛЬЄВА Людмила Анатоліївна

СОРОЧИНСЬКА Оксана Андріївна

Формат 60×84/16.

Умовн. друк. арк. 2.3.

Наклад 50 прим. Зам № _____.

Видавництво Житомирського державного університету імені Івана Франка

10008, м. Житомир, вул. Велика Бердичівська, 40

Електронна адреса: zu@zu.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ЖТ № 10 від 07.12.04 р.

Надруковано з оригінал-макета авторів
Підписано до друку _____ . Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Друк різнографічний.