

Міністерство охорони здоров'я України  
"Українська медична стоматологічна академія"

«Затверджено»  
на засіданні кафедри  
медичної інформатики,  
медичної і біологічної фізики  
«27» серпня 2020 р.  
протокол №1 від «27» серпня 2020 р.  
Зав. кафедри \_\_\_\_\_ доцент Сілкова О.В.



**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ  
ПІД ЧАС ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНОГО (СЕМІНАРСЬКОГО) ЗАНЯТТЯ

Навчальна дисципліна	Медична і біологічна фізика
Модуль №2	Основи медичної фізики
Змістовий модуль	Медична фізика
Тема заняття	Фізичні основи реографії
Курс	I,II
Факультет	Медичний №1, 2, стоматологічний

**1. Актуальність теми:** Ознайомлення з електрофізичними властивостями біологічних тканин відіграє важливе значення для розуміння функціонального стану та фізико-хімічних процесів, що відбуваються в біологічних тканинах. Кістки без окістя, шкіра мають діелектричні властивості, а кров, лімфа, спинномозкова та міжклітинна рідина має електропровідні властивості. Природа електропровідності біологічних тканин – іонна, котра залежить від різноманітних структурних факторів та вмісту вільної і зв'язної в них води. Метод реографії – важливий діагностичний метод, який дозволяє одержувати інформацію про тонус кровоносних судин.

**2. Конкретні цілі:**

- Розкрити фізичні основи реографії.
- Ознайомитися з фізичними процесами, що відбуваються в біологічних тканинах при дії на них електричних полів.
- Аналізувати механізми поляризації біологічних тканин та органів.
- Отримати навички рисувати та складати найпростіші електричні кола.
- Навчитися робити аналіз реограми та диференціальної реограми.
- Розвиток наукового мислення.
- Розвиток зацікавленості майбутньою професією.
- Формування професійно-орієнтовного розвитку психічних процесів майбутнього медичного працівника.
- Розвиток системи професійно-значимих рис особистості, таких як: толерантність, відповідальність, комунікабельність, стриманість та інше.
- Розвиток уявлення про вплив екологічних та соціально-економічних факторів на стан здоров'я людини.

**3. Базові знання, вміння, навички, необхідні для вивчення теми (міждисциплінарна інтеграція)**

Назва попередніх дисциплін	Отримані навички
1. Фізика 2. Біологія 3. Хімія 4. Математика 5. Інформаційні технології	Описувати основні механізми поляризації тканин; класифікувати матеріали за значеннями електричної провідності; вимірювати імпеданс тканин; аналізувати реограму та диференціальну реограму; аналізувати та обробляти отримані в експерименті дані; проводити розрахунки, будувати графіки; володіти методами математичного моделювання; володіти методами використання обчислювальної техніки та інформаційних ресурсів; класифікувати та узагальнювати отримані дані; робити висновки

#### 4. Завдання для самостійної роботи під час підготовки до заняття.

##### 4.1. Перелік основних термінів, параметрів, характеристик, які повинен засвоїти студент при підготовці до заняття:

Термін	Визначення
Поляризація	процес переміщення зв'язаних зарядів під дією електричного поля і утворення ЕРС, спрямованої проти зовнішнього поля
Імпеданс	ефективний опір змінному електричному струму ланцюга, в якому присутні резистори, ємності та індуктивності
Дисперсія імпедансу	залежність повного опору (імпедансу) від частоти змінного струму
Реограма	запис часової зміни опору досліджуваної біологічної системи

##### 4.2. Теоретичні питання до заняття:

1. Від чого залежить опір крові?
2. Яке діагностичне значення реограми?
3. Від чого залежить опір електричному струму тканин і органів?
4. Розкрити поняття: омичний опір, індуктивний та ємнісний опір.
5. Що таке імпеданс?
6. Формула для визначення імпедансу при послідовному сполученні?
7. Формула для визначення імпедансу при паралельному сполученні?
8. Види електросхем моделюючих тканин живого організму.

##### 4.3. Практичні роботи (завдання), які виконуються на занятті:

№ п/п	Завдання	Послідовність виконання	Зауваження, попередження, щодо самоконтролю
1	Накласти стрічкові електроди	Розмістити реограф Р4-02 та стрічкові електроди згідно з інструкцією. Приєднати електроди до реографа та накласти на тканини	
2	Виміряти базовий імпеданс тканин	Виміряти базовий імпеданс декілька разів на чотирьох частотах 40 кГц (1-ий канал реографа), 50 кГц (2-ий канал реографа), 70 кГц (3-ій канал реографа) і 100 кГц (4-ий канал реографа)	Обов'язково перевести всі отримані дані до системи СІ
3	Побудувати графічну залежність	Побудувати графік функціональної залежності імпедансу від частоти	

**Зміст теми.** Біологічні тканини і органи – дуже складні різноманітні утворення, складові яких мають різні електричні властивості. Так, наприклад, кров, лімфа, міжклітинна й спинномозкова рідина добре проводять електричний струм, а кістка, суха шкіра є діелектриками. Електропровідність біологічної речовини зумовлена наявністю в ній іонів, рухливість яких залежить від різноманітних структурних факторів, головним з яких є клітинні мембрани.

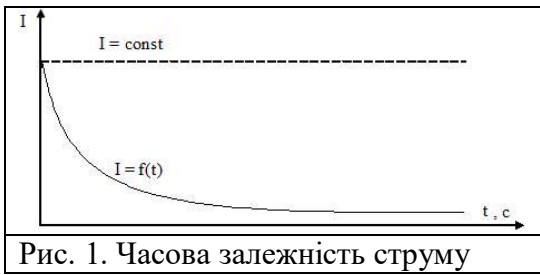


Рис. 1. Часова залежність струму

Електричний струм, який тече через живу тканину під дією постійної різниці потенціалів з часом зменшується, досягаючи деякої сталої величини (рис. 1). Для опису такої поведінки біологічних тканин використовують еквівалентні електричні схеми, які в найпростішому випадку складаються з опору та ємності.

На рис. 2 наведений найпростіший приклад такої схеми, яка дозволяє зрозуміти, чому електричний струм зменшується.

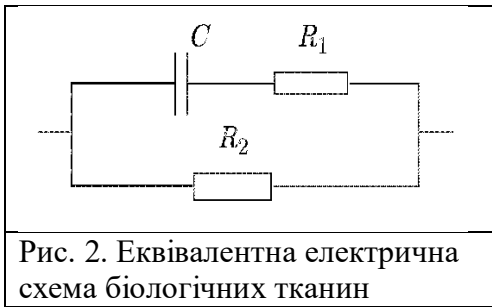


Рис. 2. Еквівалентна електрична схема біологічних тканин

Це пов'язано з тим, що з моменту підключення джерела струму починається зарядка конденсатора, яка триває до того часу, поки на ньому не виникне різниця потенціалів, яка дорівнює електрорушійній силі джерела струму. Таким чином на початку струм тече по двох паралельних ділянках, а потім тільки по одній (через опір  $R_2$ ). Опір  $R_2$  є еквівалентом

опору міжклітинних проміжків (міжклітинної речовин), опір  $R_1$  – еквівалентом внутріклітинного опору (опору цитоплазми), а ємність  $C$  – еквівалентом ємності мембрани клітини.

У загальному випадку опір електричного з'єднання, зображеного на рис. 2, буде рівний:

$$Z = \frac{R_2 \sqrt{1 + (R_1 \omega C)^2}}{\sqrt{1 + (R_1 + R_2)^2 (\omega C)^2}}. \quad (1)$$

Для постійного струму  $\omega = 0$ , тому  $Z \rightarrow R_2$ .

Характерним прикладом, який також відображає електричні властивості, є поведінка опору при запаленнях живої тканини. Величина опору при цьому збільшується, за рахунок того, що при набуханні клітин, яке викликане запаленням, зменшуються розміри міжклітинних проміжків, і, як наслідок, збільшується їх електричний опір. На схемі, яка зображена на рисунку 2, це відповідає збільшенню опору  $R_2$ .

Окрім статичної ємності мембран, дуже важливе значення має так звана поляризаційна ємність, котра виникає в зовнішньому електричному полі внаслідок такої переорієнтації та обмеженого переміщення електричних зарядів, які створюють електрорушійну силу, направлену проти цього поля. За своєю природою поляризація розділяється на декілька видів:

1. *Електронна поляризація* – деформація електронних орбіт, внаслідок чого атом перетворюється в індукований диполь (рис. 3а).

2. *Дипольна (орієнтаційна) поляризація* – переорієнтація полярних молекул під дією зовнішнього електричного поля (рис. 3б).

3. *Макроструктурна (об'ємна) поляризація* – переміщення вільних іонів та інших зарядів у межах електричної неоднорідності (частинка, включення, клітина і т.п.), внаслідок чого ця неоднорідність набуває переміщення (рис. 3в).

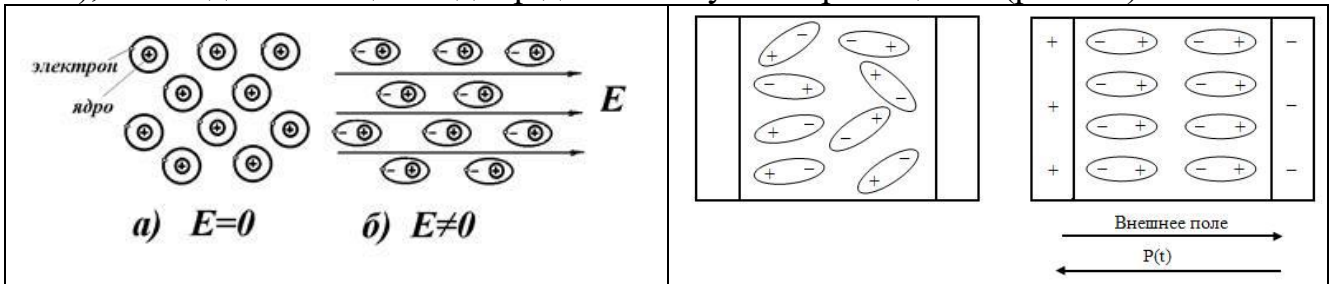


Рис. 3а. Електронна поляризація

Рис. 3б. Дипольна поляризація

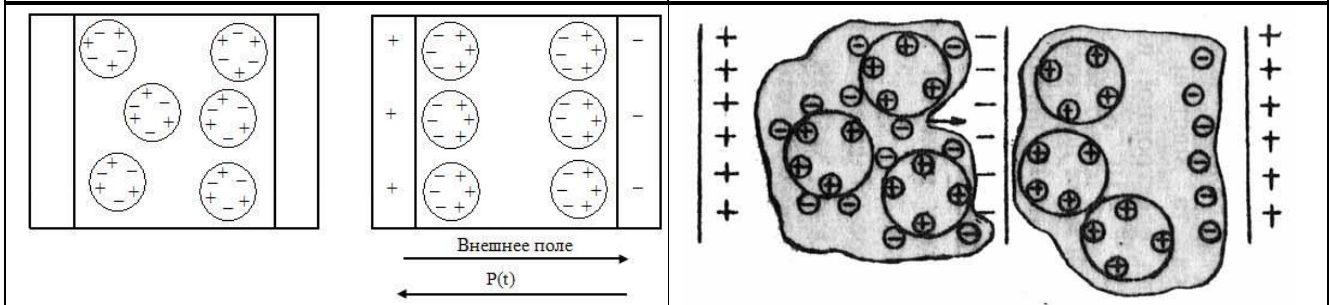


Рис. 3в. Макроструктурна поляризація

Рис. 3г. Поверхнева поляризація

4. *Поверхнева поляризація* – переміщення досить великих частинок, які за рахунок створення подвійного електричного шару здатні рухатися в електричному полі (рис. 3г).

Час релаксації сильно залежить від маси частинок, які переміщуються, та відстані, на яку вони переміщуються, і становить для електронної поляризації  $10^{-16} - 10^{-14}$  с, для дипольної –  $10^{-13} - 10^{-8}$  с, для макроструктурної –  $10^{-7} - 10^{-3}$  с і для поверхневої може сягати  $10^{-3} - 1$  с.

Найбільш повну інформацію про електричні властивості біологічних тканин можна отримати при використанні змінного струму. *Ефективний опір змінному електричному струму ланцюга, в якому присутні резистори та ємності, має назву імпеданс.*

Опір окремої ємності залежить, як від величини цієї ємності  $C$ , так і від частоти струму  $\omega$  й дорівнює  $X_C = 1/(\omega C)$ . Імпеданс послідовно з'єднаних резистора та ємності дорівнює:

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}, \quad (2)$$

а для паралельного з'єднання:

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + (\omega C)^2}} = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}. \quad (3)$$



Рис. 4. Частотна залежність імпедансу для різних зразків тканин

Як видно з формул (2) і (3), імпеданс  $Z$  зменшується з ростом частоти струму  $\omega$  (рис. 4 та рис. 5). Це явище, яке має назву дисперсія імпедансу, спостерігається також і для біологічних тканин, до того ж в них важливу роль відіграють поляризаційні ефекти. Вплив останніх зумовлений тим, що при збільшенні частоти, у зв'язку зі зменшенням тривалості періоду змінного струму, послідовно зникають ті види поляризації, час релаксації яких стає більшим, ніж половина цього періоду. Дисперсія імпедансу властива тільки живим біологічним тканинам.

На рис. 4. показана залежність імпедансу м'язової тканини від частоти при відмиранні: 1 – жива тканина (чітко виявлена дисперсія), 2 – пошкоджена (зменшення дисперсії), 3 – мертва (відсутність дисперсії).

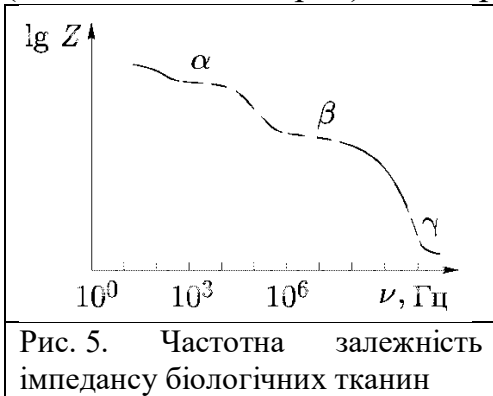


Рис. 5. Частотна залежність імпедансу біологічних тканин

У живій тканині на малих частотах за рахунок великого опору ємності мембран, електричний струм переважно тече по міжклітинних проміжках. У зв'язку з тим, що при відмиранні тканини мембрани стають проникливими, тобто їх ємнісні властивості зникають, імпеданс на малих частотах сильно зменшується, і він перестає залежати від частоти. На практиці для оцінки життєздатності тканин вимірюють так званий коефіцієнт поляризації  $K$  –

відношення імпедансів при двох частотах ( $10^3$  і  $10^6$  Гц) (рис. 6): 
$$K = \frac{Z_H(\nu = 10^3)}{Z_B(\nu = 10^6)}$$

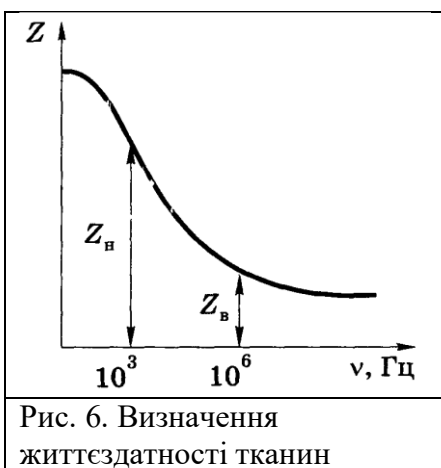


Рис. 6. Визначення життєздатності тканин

Дослідження такого характеру мають важливе значення в трансплантології для визначення життєздатності консервованих тканин та органів.

У зв'язку з тим, що кров є одним з найкращих провідників електричного струму в організмі, імпеданс тканин та органів залежить від пульсових коливань кровонаповнення. На вимірюванні зазначених змін імпедансу заснована *реографія* – *діагностичний метод, який дозволяє одержувати інформацію про тонус кровоносних судин.* Треба відзначити, що характерними значеннями величин базового імпедансу тканин та органів на тих частотах,

на яких знімаються реограми ( $40\text{-}100$  кГц) є  $50\text{-}200$  Ом, у той час як зниження імпедансу при кровонаповненні не перевищує  $0,3$  Ом, тобто реограма фіксує лише невеликі зміни імпедансу на фоні досить значної початкової величини. Типовий вигляд реограми в нормі приведено на рис. 7.

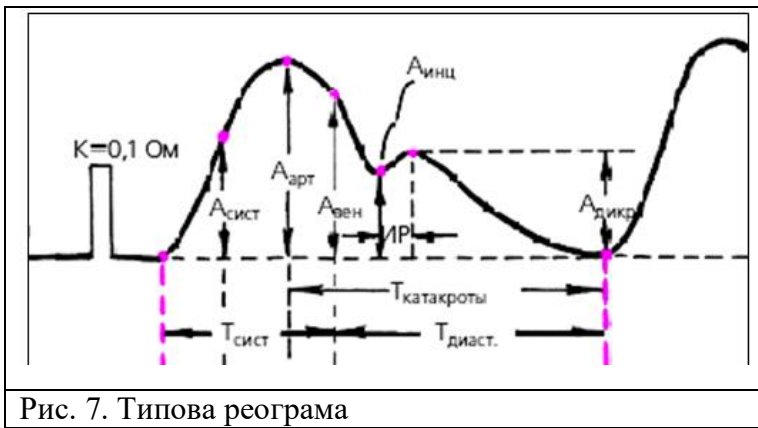


Рис. 7. Типова реограма

Такі реограми спостерігаються для багатьох тканин та органів і мають назву реокардіограма (серце), реоміограма (м'язи), реогепатикограма (печінка), реопульмонограма (легені), реоенцефалограма (мозок), реодентограма (зуби), реопародонтограма (пародонт) і

т.д.

У реограмі (РГ) (див. рис. 7) розрізняють висхідну частину – анакроту, верхівку, низхідну частину – катакроту, інцизуру і дикротичну зону. Якісна оцінка РГ складається із описання її основних елементів та ознак (особливостей):

- 1) характеристика висхідної частини (крута, полого, горбоподібна);
- 2) форма верхівки (гостра, загострена, плоска, аркоподібна, двогорба, куполоподібна, у вигляді гребеня півня);
- 3) характер низхідної частини (плоска, крута);
- 4) наявність і вираженість дикротичної хвилі (відсутня, згладжена, чітко виражена, розташована посередині низхідної частини, у верхній третині, близько до основи кривої);
- 5) наявність і розташування доповнювальних хвиль на низхідній частині (кількість, розташування нижче або вище дикротичної хвилі).

Для типової конфігурації РГ характерні крута висхідна частина, гостра верхівка, плавна низхідна частина з дикротичною хвилею посередині і чітко вираженою інцизурою.

### Лабораторна робота. Вимірювання опору змінному струму біологічної тканини.

#### Порядок виконання роботи.

1. Накласти стрічкові електроди таким чином, щоб струмові електроди (позначені буквою I) знаходились із зовнішньої сторони відносно потенціальних (позначені буквою U).
2. З'єднати кабель через роз'єм з одного кінця згідно з маркуванням з електродами, а з другого кінця з одним із каналів реографа.
3. Натискуючи кнопку відповідного каналу, на цифровому табло отримати величину базового імпедансу в омах між потенціальними електродами.
4. Вимірювання базового імпедансу треба провести по декілька разів на чотирьох частотах 40 кГц (1-ий канал реографа), 50 кГц (2-ий канал реографа), 70 кГц (3-ий канал реографа) і 100 кГц (4-ий канал реографа). Дані занести до звітної таблиці 1.

Таблиця 1.

$\nu$ , кГц	40	50	70	100
Z, Ом				

5. За даними таблиці 1 побудувати графік функціональної залежності

$$Z = f(\nu).$$

6. Оформити роботу і зробити висновки.

### Матеріали для самоконтролю:

1. Від чого залежить опір крові?
  2. Яке діагностичне значення реограми?
  3. Від чого залежить опір електричному струму тканин і органів?
  4. Розкрити поняття: омичний опір, індуктивний та ємнісний опір.
  5. Що таке імпеданс?
  6. Формула для визначення імпедансу при послідовному сполученні?
  7. Формула для визначення імпедансу при паралельному сполученні?
  8. Види електросхем моделюючих тканин живого організму.
  9. Чому опір зменшується зі збільшенням кровонаповненості судин?
  10. Чому опір зменшується зі збільшенням частоти?
  11. Для чого використовують реограф?
1. Чому дорівнює проміжок часу між відповідними комплексами кардіограми і реограми певної судинної ділянки при одночасній їх реєстрації за допомогою поліграфа?
    - A) Дорівнює часу поширення пульсової хвилі до досліджуваної ділянки;
    - B) Завжди дорівнює нулю;
    - C) Дорівнює тривалості QRS комплексу електрокардіограми;
    - D) Дорівнює тривалості дикротичної хвилі реограми;
    - E) Дорівнює часу надходження порції крові, викинутої при скороченні серця, до досліджуваної ділянки.
  2. Імпеданс живих тканин має такі складові:
    - A) ємнісний і індуктивний опори;
    - B) тільки ємнісний опір;
    - C) тільки індуктивний опір;
    - D) активний і ємнісний опори;
    - E) активний і індуктивний опори.
  3. Як проявляється дисперсія електропровідності при проходженні змінного струму в живих тканинах?
    - A) Опір збільшується зі зменшенням частоти струму, наближаючись до максимального значення;
    - B) Опір збільшується зі збільшенням частоти струму, наближаючись до максимального значення;
    - C) Опір зменшується із зменшенням частоти струму, наближаючись до мінімального значення;
    - D) Опір зменшується зі збільшенням частоти струму, наближаючись до мінімального значення;
    - E) Опір зменшується зі збільшенням частоти, прямуючи до нуля.
  4. Що називається дисперсією електропровідності живої тканини?
    - A) залежність електропровідності живої тканини від частоти електромагнітного поля;
    - B) відношення імпедансу на низькій частоті до імпедансу на високій частоті;
    - C) залежність імпедансу від частоти змінного струму;
    - D) огинання електромагнітними хвилями тканин організму;
    - E) залежність показника заломлення від інтенсивності електромагнітної хвилі.
  5. Що можна визначити за результатами реографічних вимірювань?
    - A) Об'єм судин;
    - B) Ударний об'єм крові;
    - C) Зміну об'єму крові;
    - D) Діаметр судин;
    - E) Об'ємну швидкість кровотоку.
  6. Чому в період систоли реєструється збільшення електропровідності?
    - A) зменшується кровонаповнення, а кров є добрим діелектриком;
    - B) наповнення вен кров'ю зменшується, а кров добрий провідник електричного струму;
    - C) внаслідок розслаблення міокарда;
    - D) збільшується кровонаповнення, а кров є добрим провідником;
    - E) внаслідок скорочення міокарда.
  7. Що називають дисперсією імпедансу?
    - A) огинання тканин електромагнітними хвилями;
    - B) розсіювання електромагнітних хвиль тканинами;
    - C) відношення імпедансу на низькій частоті до імпедансу на високій частоті;
    - D) залежність імпедансу від частоти змінного струму;
    - E) залежність показника заломлення від інтенсивності електромагнітної хвилі.



8. Як називається метод дослідження кровонаповнення легень?
- A) Реоенцефалографія;
  - B) Реогепатографія;
  - C) Реоофтальмографія;
  - D) Реонефрографія;
  - E) Реопульмографія.
9. Які з названих величин характеризують електричні властивості біологічних об'єктів?
- A) індуктивність;
  - B) електроємність;
  - C) діелектрична проникність;
  - D) густина;
  - E) електропровідність.
10. Що відбувається при прикладанні постійної напруги до живої тканини?
- A) сила струму змінюється з часом, хоча напруга на ділянці тканини не змінюється;
  - B) сила струму з часом не змінюється;
  - C) сила струму з моменту прикладання напруги починає неперервно зменшуватись і через деякий час встановлюється на постійному рівні;
  - D) сила струму з часом зростає, досягаючи максимального значення;
  - E) сила струму з часом зростає без обмеження.

### **Рекомендована література.**

#### **Основна:**

1. Іщейкіна Ю.О. Медична і біологічна фізика: навч. посібник / Ю.О. Іщейкіна, В.І. Макаренко, Н.В. Тронь – 2-ге видання. – Полтава: Шевченко Р.В., 2014. – 352 с.
2. Лобоцкая Н.Л. Высшая математика / Н.Л. Лобоцкая, Ю.В. Морозов, А.А. Дунаев; Учебник для студентов фармацевтических факультетов медицинских институтов. – Минск: Вышшая школа, 1987. – 319 с.
3. Медицинская и биологическая физика: учеб. для студ. высших мед. учеб. завед. IV ур. акр. / под ред. А.В. Чалого. – Вінниця: Нова Книга, 2011. – 568 с.
4. Медична і біологічна фізика: підруч. для студ. вищ. мед. заклад. III-IV р. акред. / Під заг. ред. О.В. Чалого. – 2-ге вид., переробл. і доп. – К.: Книга плюс, 2005. – 760 с.
5. Медична та біологічна фізика : нац. підруч. для студ. вищ. мед. навч. закладів III-IV рівнів акредитації / О. В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін. ; за ред. О.В. Чалого. – Вінниця: Нова книга, 2013. – 528 с.
6. Медична та біологічна фізика: підручник для студентів медичних ВНЗ / О.І. Антюфєєва, Л.В. Батюк, М.А. Бондаренко та ін.; за ред. В.Г. Кнігавка. – Харків: ХНМУ, 2010. – 370 с.

#### **Додаткова:**

1. Лабораторный и лекционный эксперимент по медицинской и биологической физике / Под ред. Д.С. Кройтора, А.Н. Ремизова, В.О. Самойлова – Кишинев: Лумина, 1983. – 328 с.
2. Медична і біологічна фізика: Практикум: навч.-метод. посіб. для вищ. мед. навч. закл. / за ред. О.В. Чалого. – К.: Книга плюс, 2003. – 217 с.