



УДК: 616.12-07:577.3]:378.147

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.III.2](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.III.2)

## Актуальні питання біофізики серця при опануванні студентами тем з кардіології

Оксана Полянська

 ID: [0000-0002-3889-7568](https://orcid.org/0000-0002-3889-7568) @: [okspolyan@ukr.net](mailto:okspolyan@ukr.net)

Ігор Полянський

 ID: [0000-0001-6520-1143](https://orcid.org/0000-0001-6520-1143) @: [ipolyanskiy@ukr.net](mailto:ipolyanskiy@ukr.net)

Ольга Гулага

 ID: [0000-0001-8043-5511](https://orcid.org/0000-0001-8043-5511) @: [opolyanska@ukr.net](mailto:opolyanska@ukr.net)

Інна Москалюк

 ID: [0000-0002-8386-4490](https://orcid.org/0000-0002-8386-4490) @: [ipolyanska@ukr.net](mailto:ipolyanska@ukr.net)

Андрій Спіжавка

@: [spizhavka.andrii.med@bsmu.edu.ua](mailto:spizhavka.andrii.med@bsmu.edu.ua)

Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна

### Ключові слова:

біофізика,  
кардіологія,  
внутрішньосерцева  
гемодинаміка,  
ультразвукове  
обстеження,  
комп'ютерна  
томографія.

### Анотація

Стаття присвячена освітленню проблеми про значення основ біофізики при викладанні у студентів тем з кардіології. Біофізика серця як науковий напрямок має розділи медичної біофізики, біоенергетики, біоелектрики, біофізики метаболізму, які вивчають фізичні аспекти серцевої діяльності на всіх рівнях її організації, починаючи від молекулярного рівня до вивчення внутрішньосерцевої гемодинаміки при дії різних факторів. Вивчення тем з кардіології для студентів має проводитись з використанням знань про застосування сучасних інструментальних методів діагностики, таких як: ЕхоКГ, КТ, МРТ, ПЕТ та нових технологій для лікування різних захворювань, що є надзвичайно сучасним і актуальним.

### Цитування:

Полянська О, Полянський І, Гулага О, Москалюк І, Спіжавка А. Актуальні питання біофізики серця при опануванні студентами тем з кардіології. Природничі, математичні науки та освіта в медицині 1 (2) 2025 50-7

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.III.2](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.III.2)



# Current issues of heart biophysics in study of cardiology topics by students

Oksana Polianska

 [0000-0002-3889-7568](https://orcid.org/0000-0002-3889-7568) @: [okspolyan@ukr.net](mailto:okspolyan@ukr.net)

Igor Polianskyi

 [0000-0001-6520-1143](https://orcid.org/0000-0001-6520-1143) @: [ipolyanskiy@ukr.net](mailto:ipolyanskiy@ukr.net)

Olha Hulaha

 [0000-0001-8043-5511](https://orcid.org/0000-0001-8043-5511) @: [opolyanska@ukr.net](mailto:opolyanska@ukr.net)

Inna Moskaliuk

 [0000-0002-8386-4490](https://orcid.org/0000-0002-8386-4490) @: [ipolyanska@ukr.net](mailto:ipolyanska@ukr.net)

Andrii Spizhavka

@: [spizhavka.andrii.med@bsmu.edu.ua](mailto:spizhavka.andrii.med@bsmu.edu.ua)

Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

## Keywords:

biophysics,  
cardiology,  
intracardiac hemodynamics,  
ultrasound examination,  
computed tomography.

## Abstract

The article is devoted to highlighting the importance of the fundamentals of biophysics in teaching cardiology topics to students. Cardiac biophysics, as a scientific discipline, encompasses sections of medical biophysics, including bioenergetics, bioelectricity, and metabolic biophysics. These areas explore the physical aspects of cardiac function across all levels of biological organization — starting from the molecular scale to the analysis of intracardiac hemodynamics under different conditions. Studying cardiology topics for students should involve the application of knowledge about modern instrumental diagnostic methods such as EchoCG, CT, MRI, and PET, along with emerging technologies for the treatment of various cardiovascular diseases, which is highly relevant and actual.

## Зміст

|                            |    |
|----------------------------|----|
| Вступ                      | 52 |
| Основна частина            | 52 |
| Заклучна частина           | 55 |
| Висновки                   | 55 |
| Список використаних джерел | 56 |

## Перелік скорочень:

КТ - комп'ютерна томографія  
ССС - серцево-судинна система  
ЕхоКГ - ехокардіографія  
ЕКГ - електрокардіографія  
СА - синоатріальний  
АВ - атріовентрикулярний  
ІХС - ішемічна хвороба серця  
ЧСС - частота серцевих скорочень  
ФКГ- фонокардіографія

Розділ 3. Природничі та математичні дисципліни в медичній освіті  
Section 3. Natural and mathematical disciplines in medical education

МРТ - магнітно-резонансна томографія  
ПЕТ - позитронно-емісійна томографія  
ІКК - індекс коронарного кальцинозу  
КВГ - коронаровентрикулографія

## Вступ

Спостереження за фізичними процесами в людському організмі (асиміляція, дисиміляція, дихання, терморегуляція) вказують на певні відхилення від норми, які спостерігаються при різних хворобах.

Використання знань з медичної фізики призводять до створення сучасних фізичних методів діагностики, попередження та лікування пацієнтів з різною патологією, оптимально проводити дослідження на певній апаратурі у практичній клінічній роботі, вивчати вплив факторів навколишнього середовища на людський організм та розробляти методи за-

хисту людини від великих навантажень.

Напрямки, спрямовані на дослідження питань комп'ютерного моделювання патології ССС, гемодинаміки, радіаційного опромінення, білкових молекул, біоінформації, комп'ютерної фізики біосистем, біофізики злоякісних утворень, фізичних основ медичної діагностики, комп'ютерної томографії, молекулярного механізму електрозварювання людських тканин, взаємодії ДНК з іншими біомолекулами важливі для медицини сьогодення і потребують інноваційних підходів при вивченні тем кардіологічного спрямування.

## Основна частина

Біофізика серця – це науковий напрямок на стику кардіології та таких розділів біофізики, як медична біофізика, біоенергетика, біоелектрика, біофізика метаболізму, яка вивчає фізичні аспекти серцевої діяльності на всіх рівнях її організації, починаючи від біохімічних процесів рівня до вивчення внутрішньосерцевої гемодинаміки при дії різних факторів [1,2].

З метою діагностики хвороб серця і судин і підбору медикаментозної терапії важливо вивчати і усвідомлювати роль різних фізичних факторів, зокрема: електричних, механічних, акустичних та температурних. Надзвичайно важливим є впровадження в медичну практику новітніх методик візуалізації, вдосконалення та запровадження нових комп'ютерних технологій, розвиток та удосконалення методів електро- і магнітографії, томографії.

Одним з найвідоміших методів обстежень пацієнта є ЕКГ, який заснований на реєстрації і аналізі електричних імпульсів, що виникають при роботі серця. Кожна клітина серцевого м'яза створює електричне поле, яке має характе-

ристики, подібні у загальних рисах до електричного поля інших типів м'язових клітин, а зміна електричного поля серця відбуваються при деполяризації і реполяризації мембрани клітин серця. За допомогою ЕКГ можна діагностувати більшість хвороб серця і на підставі отриманих даних можна судити не тільки про електричну активність серця, а і про зміни в структурі міокарда [3,4].

Здатність тканин серця створювати електричні імпульси при відсутності зовнішніх збуджень називають функцією автоматизму. Цією функцією володіють клітини тканин СА-вузла та провідної системи серця: систем передсердя і шлуночків та АВ-вузла. Вони отримали назву клітин водіїв ритму – пейсмекерів. Функцією провідності називають здатність до проведення збудження, що виникає в будь-якій зоні серця, якою володіє як скоротливий міокард, так і волокна спеціалізованої провідної системи серця, проте в міокарді швидкість поширення електричного імпульсу знижується. У нормі хвиля збудження, що виникає в клітинах

Розділ 3. Природничі та математичні дисципліни в медичній освіті  
Section 3. Natural and mathematical disciplines in medical education

СА-вузла, поширюється по найкоротшому провідному шляху в зону правого передсердя та трьох міжвузлових трактам – Бахмана, Венкебаха і Тореля – до зони АВ-вузла і по міжпередсердному пучку Бахмана до лівого передсердя. Фізіологічна затримка хвилі збудження АВ-вузла визначає тимчасову нормальну послідовність збудження передсердя і шлуночків. При підсиленому ритмі серцевих імпульсів, що надходять з СА-вузла або передсердя, з перевищенням 200 ударів за хв, навіть у здорової людини може з'явитися часткова АВ блокада при проведенні електричного імпульсу з передсердя до шлуночків. Властивість серця збуджуватися від дії імпульсів називають збудливістю і цю функцію мають клітини провідної системи серця, а також скоротливого міокарда. Властивість серцевого м'яза скорочуватися у відповідь на дане збудження називають скорочуванням [1, 2].

На практичному занятті студентам роздаються набори ЕКГ, які вони вивчають і аналізують ритм серця, знаходять ознаки гіпертрофії передсердь і шлуночків, діагностують синоатріальну і атріо-вентрикулярну блокади та ознаки ішемії міокарда. Виявивши певні електрокардіографічні зміни, наприклад, елевацію сегмента ST, студент має виставити клінічний попередній діагноз: гострий коронарний синдром з елевацією сегмента ST. В подальшому студент має знати, як надати невідкладну допомогу такому пацієнту зі зняттям больового синдрому, прийомом аспіріну 300 мг клопидогрелю 300 мг і скеруванням пацієнта до найближчого кардіохірургічного відділення з подальшим контролем ЕКГ.

Останніми роками широкого поширення у клінічній практиці отримало тривале моніторування ЕКГ за Холтером. Метод застосовується зазвичай для діагностики швидких порушень ритму серця, а також для виявлення ішемічних змін ЕКГ у хворих з ІХС. Істотною

перевагою методу є можливість тривалої (протягом 24-48 год) реєстрації ЕКГ у звичних для пацієнта умовах. Прилад для тривалого моніторування ЕКГ за Холтером складається з системи відведень, спеціального пристрою, який відображає ЕКГ на магнітній стрічці. Мініатюрний реєструючий пристрій і електроди розміщуються на тілі пацієнта. У сучасних системах для тривалого моніторування ЕКГ за Холтером передбачено представлення даних на спеціальній паперовій стрічці у стислому компактному вигляді, що дозволяє отримати наочне уявлення про найбільш істотні епізоди порушень ритму серця і зміни сегменту S-T. Інформація може бути представлена також у цифровому вигляді і у вигляді гістограм, що відображають розподіл впродовж доби різних частот серцевого ритму, а також епізодів аритмій [5].

На практичному занятті студенти розглядають запис (24 год) ЕКГ на моніторі і виявляють патологічні зміни у вигляді наявних екстрасистол, епізодів пароксизмальної тахікардії з вузькими та широкими комплексами або порушення провідності. В подальшому студенти відпрацьовують методику проведення вагусних проб при пароксизмальній тахікардії з вузькими комплексами і призначають антиаритмічну терапію

Черезстравохідна електрична стимуляція серця – неінвазивний метод дослідження, який використовують для діагностики прихованої коронарної недостатності у хворих ІХС, вивчення характеру та електрофізіологічних механізмів порушень ритму серця, а також для лікування пароксизмальних надшлуночкових тахіаритмій. Суть методу полягає в регульованому збільшенні ЧСС шляхом нав'язування штучного ритму електричною стимуляцією передсердя. Для цього використовують гнучкий біполярний електрод – катетер, який вводиться через ніс або рот у стравохід і

Розділ 3. Природничі та математичні дисципліни в медичній освіті  
Section 3. Natural and mathematical disciplines in medical education

встановлюється на рівні передсердя [6].

При обговоренні зі студентами цього методу обстеження наголошується можливість зняття у пацієнтів пароксизмальної тахікардії шляхом нав'язування штучного ритму електричною стимуляцією передсердя більше, ніж 300 стимулів з подальшим відновленням синусового ритму.

ЕхоКГ дає можливість візуалізувати структури серця та великих судин за допомогою ультразвукового методу, використовуючи явище відбиття пучка ультразвукових хвиль із частотою 1,5-10 МГц від структур серця. Цей метод обстеження є основним діагностичним дослідженням у кардіологічній практиці, бо він надає ключову діагностичну інформацію при патології серця. У медичній практиці використання ультразвуку залежить від напрямів діагностики чи терапії, умов випромінювання та характерних властивостей біологічної тканин – акустичного опору, швидкості поширення в конкретному шарі та його щільності. Під час УЗ-діагностики використовують як безперервно-хвильове, так й імпульсно-хвильове випромінювання: у першому випадку досліджують відбиту хвилю, яка виникає під час інтерференції падаючої та відбитої хвиль на межі розподілу, а у 2- спостерігають віддзеркалений імпульс і вимірюють час поширення ультразвуку до досліджуваного об'єкта і назад. При цьому, знаючи швидкість поширення ультразвуку, можна визначити відстань до досліджуваної частини серця [2].

На практичному занятті студенти розглядають результати ЕхоКГ з трактуванням: розміру аорти, бо збільшення цього показника вказує на можливу аневризму аорти, що потребує термінового направлення пацієнта на оперативне втручання, зниження фракції викиду лівого шлуночка менше 20%-40% , що потребує індивідуалізованого призначення фармакотерапії або навіть трансплантації серця.

Для діагностики стану серцевої ді-

яльності застосовують метод графічної реєстрації тонів та шумів серцево-судинної системи, який отримав назву фонокардіографія. Записування ФКГ виконують за допомогою фонокардіографа, структурна схема якого містить мікрофон, звуковий підсилювач, лінійки частотних фільтрів і пристрою, що реєструє. Цей метод допомагає поточнито характер змін при ураженні міокарда і вроджених та набутих вад серця.

На практичному занятті студенти розглядають ФКГ і аналізують амплітуду І тону, характеристику і форму шумів, прив'язаність систолічного шуму до І тону чи ні, що дає можливість провести диференційну діагностику між функціональними і органічними ураженнями серця.

Електронно-променеву КТ в кардіології використовують для оцінки ступеня кальцифікації коронарних артерій і для оцінки роботи серця. За допомогою КТ можна візуалізувати структуру та функцію серця та великих судин, а також виявляти ознаки ішемії та запалення міокарда [7].

МРТ базується на скануванні тканин із отриманням пошарових зображень патологічної області, зокрема, детальних зображень серця, клапанів та судин. При цьому відбувається вивчення процесу розщеплення ядер водню під впливом створюваного апаратом електромагнітного поля. МРТ серця дає можливість оцінити структуру міокарда, перикарда, кінетику серцевих структур, патологічні зміни, зокрема набряк, ішемію, постінфарктні рубці та аневризму лівого шлуночка. До переваг методики відносять можливість отримання максимально чітких пошарових знімків у різних проєкціях, у тому числі будується тривимір-на модель досліджуваної області [8, 9].

ПЕТ - це метод радіоізотопної медичної візуалізації та діагностики, заснований на застосуванні препаратів, мічених ізотопами, які є випромінювачами позитронів. ПЕТ дає можливість за допомогою

Розділ 3. Природничі та математичні дисципліни в медичній освіті  
Section 3. Natural and mathematical disciplines in medical education

спеціального детекторного обладнання відстежувати розподіл в організмі біологічно активних сполук, мічених радіоізотопами, які випромінюють позитрони і дає можливість вивчати процеси метаболізму, транспорт речовин, експресію генів. Аналіз виявлених змін дає можливість виявити певні порушення в міокарді.

На сучасному етапі можливе використання нанороботів, розмір яких близький до мікроскопічного, які розвивають велику швидкість у рідкому середовищі за допомогою електромагнітного поля для створення певної концентрації лікарських речовин в уражених тканинах. Також нанороботи певної форми можуть впливати на пухлину, віруси, бактерії, знищуючи їх [10, 11]. Знаходячись в судинному руслі, вони можуть впливати на атеросклеротичні бляшки, змінені клапани з нормалізацією пошкоджених тканин [8].

На теперішній час також надзвичай-

но важливим методом обстеження є не-підсилена КТ серця, яка дає можливість вичислити індекс Агатстона з обчисленням ступеня кальцифікації коронарних артерій. Обчислення проводиться шляхом множення зваженої густини для зони з високим ослабленням випромінювання на площу кальцинованої бляшки. Градація ураження коронарних судин на основі індексу коронарного кальцію наступна: 0 – немає ознак ураження, 1-10 – мінімальне ураження, 11-100 – незначне ураження, 101-400 – помірне ураження, більше 400 – тяжке ураження. Має велике практичне значення співставлення ІКК і стенозу за даними КВГ: ІКК 27-88:  $\geq 20\%$  за даними КВГ, ІКК 89-127:  $\geq 30\%$ , ІКК 128-200:  $\geq 40\%$ , ІКК 201-271:  $\geq 50\%$ , ІКК  $>271$ :  $\geq 70\%$ . Результати цих обстежень дають можливість проводити відбір пацієнтів на КВГ [12, 13].

### Заклучна частина

Можна виділити такі основні напрями сучасного розвитку біофізики серця: створення дефібриляторів нового типу (малопотужних і щадних); удосконалення способів візуалізації процесів збудження міокарда з метою покращення якості медичної діагностики; моделювання серцевої діяльності з метою персоналізації лікування пацієнтів; дослідження впливу ефектів біфуркаційної пам'яті на ефек-

тивність лікування захворювань серця; розробка нових принципів діагностики захворювань серця, побудованих на основі сучасних знань законів фізики.

Отже, при вивченні актуальних питань кардіології зі студентами необхідно підкреслювати важливу роль клініко-інструментального обстеження, що дасть можливість вчасно виставити діагноз і провести медичні інтервенції.

### Висновки

1. Біофізика серця має величезний потенціал для покращення діагностики та лікування серцево-судинних захворювань, а розуміння механізмів, що лежать в основі серцевої діяльності, дають можливість розробляти нові методи раннього виявлення, індивідуалізованої терапії та покращення прогнозу для пацієнтів з хворобами серця і судин.

2. Методика проведення занять з кардіології для студентів повинна включати освоєння знань з біофізики про застосування сучасних інструментальних методів обстеження ЕхоКГ, КТ, МРТ, ПЕТ з обчисленням маркерів прогресування атеросклерозу, динаміки внутрішньосерцевої гемодинаміки.

Розділ 3. Природничі та математичні дисципліни в медичній освіті  
Section 3. Natural and mathematical disciplines in medical education

Список використаних джерел

1. Терещенко МФ, Тимчик ГС, Яковенко ІО. Біофізика: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка»; 2019. 444 с.
2. Іванова ОІ, Філоненко НІО, Хорольський ОО, Гнатюк ІО. Біофізика ультразвуку в курсі «Медична та біологічна фізика». Актуальні питання природничо-математичної освіти : збірник наукових праць. Суми : [СумДПУ ім. А. С. Макаренка]; 2014. Вип. 4. С. 27–32. URL <https://repository.sspu.edu.ua/handle/123456789/6576>
3. Сікорський П., Колодій І. Кібернетичні вимоги до освітнього процесу у вищих навчальних закладах. Вища освіта України. 2022. №1-2. С.29. doi:10.31392/NPU-VOU.2022.1-2(84-85).04 [https://wou.npu.edu.ua/images/arhiv/2022/01\\_2022/2022\\_1-2\\_04\\_ukr.pdf](https://wou.npu.edu.ua/images/arhiv/2022/01_2022/2022_1-2_04_ukr.pdf)
4. Полянська ОС., Ташчук ВК., Гулага ОІ, Москалюк, ІІ. Фізична та реабілітаційна медицина при ішемічній хворобі серця. Чернівці. БДМУ; 2024. 174с.
5. Israel CW, Tribunyan S. Das Langzeit-EKG [Holter monitoring]. *Herzschrittmacherther Elektrophysiol.* 2024; 35(3). 234-249. doi:[10.1007/s00399-024-01036-8](https://doi.org/10.1007/s00399-024-01036-8)
6. Weiwei S, Cao X. GW27-e1169 Clinical analysis of 60 cases of tachycardia with transesophageal cardiac pacing. *Journal of the American College of Cardiology.* 2016; 68 (16). C115. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.07.432>
7. Hailey J, Jansen T, Quinn A, Rose RA. Cellular Sinoatrial Node and Atrioventricular Node Activity in the Heart. *Reference Module in Biomedical Sciences*, Elsevier. 2024. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15734-9.00032-7>
8. Liu C, Ferrari VA, Han Y. Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging and Heart Failure. *Curr Cardiol Rep.* 2021; 23(4):35. Published 2021 Mar 8. doi:[10.1007/s11886-021-01464-9](https://doi.org/10.1007/s11886-021-01464-9)
9. Aljizeeri A, Sulaiman A, Alhulaimi N, Alsaileek A, Al-Mallah MH. Cardiac magnetic resonance imaging in heart failure: where the alphabet begins!. *Heart Fail Rev.* 2017; 22(4):385-399. doi:[10.1007/s10741-017-9609-4](https://doi.org/10.1007/s10741-017-9609-4)
10. Li J, Dekanovsky L, Khezri B, Wu B, Zhou H, Sofer Z. Biohybrid Micro- and Nanorobots for Intelligent Drug Delivery. *Cyborg Bionic Syst.* 2022. Published 2022 Feb 10. doi:[10.34133/2022/9824057](https://doi.org/10.34133/2022/9824057)
11. Zong Q, He C, Long B, Huang Q, Chen Y, Li Y, Dang Y, Cai C. Targeted Delivery of Nanoparticles to Blood Vessels for the Treatment of Atherosclerosis. *Biomedicines.* 2024; 12(7):1504. Published 2024. doi:[10.3390/biomedicines12071504](https://doi.org/10.3390/biomedicines12071504)
12. Van der Bijl N, Joemai RM, Geleijns J, Bax JJ, Schuijff JD, de Roos A, Kroft LJ. Assessment of Agatston coronary artery calcium score using contrast-enhanced CT coronary angiography. *American journal of roentgenology.* 2010. 195 (6): 1299-305. doi:[10.2214/AJR.09.3734](https://doi.org/10.2214/AJR.09.3734)
13. Greenland P, Alpert JS, Beller GA, Benjamin EJ, Budoff MJ, Fayad ZA, Foster E, Hlatky MA, Hodgson JM, Kushner FG, Lauer MS, Shaw LJ, Smith SC, Taylor AJ, Weintraub WS, Wenger NK, Jacobs AK, Smith SC, Anderson JL, Albert N, Buller CE, Creager MA, Ettinger SM, Guyton RA, Halperin JL, Hochman JS, Kushner FG, Nishimura R, Ohman EM, Page RL, Stevenson WG, Tarkington LG, Yancy CW. ACCF/AHA guideline for assessment of cardiovascular risk in asymptomatic adults: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Journal of the American College of Cardiology.* 2010; 56 (25): e50-103. doi:[10.1016/j.jacc.2010.09.001](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.09.001)

References

1. Tereshchenko MF, Tymchik GS, Yakovenko IO. Biophysics: textbook. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Publishing House "Polytechnica"; 2019. 444 p.
2. Ivanova OI, Filonenko N.Yu., Khorolskyi O.O., Hnatiuk I.Yu. Ultrasound biophysics in the course "Medical and biological physics". Current issues of natural and mathematical education: collection of scientific papers. Sumy: [SumSPU named after A. S. Makarenko]; 2014. Issue 4. P. 27–32. URL <https://repository.sspu.edu.ua/handle/123456789/6576>
3. Sikorsky P., Kolodiy I. Cybernetic requirements for the educational process in higher educational institutions. *Higher Education of Ukraine.* 2022. No. 1-2. P.29. doi:10.31392/NPU-VOU.2022.1-2(84-85).04 [https://wou.npu.edu.ua/images/arhiv/2022/01\\_2022/2022\\_1-2\\_04\\_ukr.pdf](https://wou.npu.edu.ua/images/arhiv/2022/01_2022/2022_1-2_04_ukr.pdf)
4. Polianska OS., Tashchuk VK., Hulaha OI, Moskalyuk II. Physical and rehabilitation medicine for ischemic heart disease. Chernivtsi. BSMU; 2024. 174p.
5. Israel CW, Tribunyan S. Das Langzeit-EKG [Holter monitoring]. *Herzschrittmacherther Elektrophysiol.* 2024; 35(3). 234-249. doi:[10.1007/s00399-024-01036-8](https://doi.org/10.1007/s00399-024-01036-8)
6. Weiwei S, Cao X. GW27-e1169 Clinical analysis of 60 cases of tachycardia with transesophageal cardiac pacing. *Journal of the American College of Cardiology.* 2016; 68 (16). C115. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.07.432>
7. Hailey J, Jansen T, Quinn A, Rose RA. Cellular Sinoatrial Node and Atrioventricular Node Activity in the Heart. *Reference Module in Biomedical Sciences*, Elsevier. 2024. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15734-9.00032-7>
8. Liu C, Ferrari VA, Han Y. Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging and Heart Failure. *Curr Cardiol Rep.* 2021; 23(4):35. Published 2021 Mar 8. doi:[10.1007/s11886-021-01464-9](https://doi.org/10.1007/s11886-021-01464-9)

Розділ 3. Природничі та математичні дисципліни в медичній освіті  
Section 3. Natural and mathematical disciplines in medical education

9. Aljizeeri A, Sulaiman A, Alhulaimi N, Alsaileek A, Al-Mallah MH. Cardiac magnetic resonance imaging in heart failure: where the alphabet begins!. *Heart Fail Rev.* 2017; 22(4):385-399. doi:[10.1007/s10741-017-9609-4](https://doi.org/10.1007/s10741-017-9609-4)
10. Li J, Dekanovsky L, Khezri B, Wu B, Zhou H, Sofer Z. Biohybrid Micro- and Nanorobots for Intelligent Drug Delivery. *Cyborg Bionic Syst.* 2022. Published 2022 Feb 10. doi:[10.34133/2022/9824057](https://doi.org/10.34133/2022/9824057)
11. Zong Q, He C, Long B, Huang Q, Chen Y, Li Y, Dang Y, Cai C. Targeted Delivery of Nanoparticles to Blood Vessels for the Treatment of Atherosclerosis. *Biomedicines.* 2024; 12(7):1504. Published 2024. doi:[10.3390/biomedicines12071504](https://doi.org/10.3390/biomedicines12071504)
12. Van der Bijl N, Joemai RM, Geleijns J, Bax JJ, Schuijff JD, de Roos A, Kroft LJ. Assessment of Agatston coronary artery calcium score using contrast-enhanced CT coronary angiography. *American journal of roentgenology.* 2010. 195 (6): 1299-305. doi:[10.2214/AJR.09.3734](https://doi.org/10.2214/AJR.09.3734)
13. Greenland P, Alpert JS, Beller GA, Benjamin EJ, Budoff MJ, Fayad ZA, Foster E, Hlatky MA, Hodgson JM, Kushner FG, Lauer MS, Shaw LJ, Smith SC, Taylor AJ, Weintraub WS, Wenger NK, Jacobs AK, Smith SC, Anderson JL, Albert N, Buller CE, Creager MA, Ettinger SM, Guyton RA, Halperin JL, Hochman JS, Kushner FG, Nishimura R, Ohman EM, Page RL, Stevenson WG, Tarkington LG, Yancy CW. ACCF/AHA guideline for assessment of cardiovascular risk in asymptomatic adults: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Journal of the American College of Cardiology.* 2010; 56 (25): e50-103. doi:[10.1016/j.jacc.2010.09.001](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.09.001)