

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 ЗАНЯТТЯ

<i>Навчальна дисципліна</i>	Медична і біологічна фізика
<i>Модуль № 1</i>	Основи вищої математики та біологічної фізики
<i>Змістовний модуль</i>	Біологічна фізика
<i>Тема заняття</i>	Біофізика кровообігу. Аналіз роботи серця. Методи вимірювання АТ.
<i>Курс</i>	I, II
<i>Факультет</i>	Медичний №1, 2, стоматологічний

Актуальність теми:

В організмі людини ми часто зустрічаємося з біофізичними процесами і явищами, фізичною основою яких є гідродинаміка. Одним з найбільш важливих з таких процесів є рух крові по судинах, або гемодинаміка. Серцево-судинна система відіграє головну роль в забезпеченні нормальної життєдіяльності організму, а її порушення, наприклад, порушення кровообігу, є причиною багатьох захворювань.

1. Конкретні цілі:

З'ясувати механізм роботи серцево-судинної системи. Знати поняття ламінарної та турбулентної течії, основне рівняння гідродинаміки, залежність швидкості руху крові від площі поперечного перерізу судин, а також величини кров'яного тиску в різних відділах судинної системи.

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

Назви попередніх дисциплін	Отримані навички
1. Фізика.	Знати основні поняття механіки, одиниці вимірювання та їх перетворення, застосовувати закон безперервності течії, закон Бернуллі, зображати схематично фізичні моделі кровоносної системи людини (гідродинамічна, електрична та ін.), визначати ціну поділки приладу, оцінювати похибки вимірювань, застосовувати алгоритм розв'язування задач гідродинаміки, визначати роботу, ККД, період, частоту.
2. Біологія.	Описувати будову кровоносно-судинної системи на прикладі великого кола кровообігу, будову та роботу серця людини, класифікувати судини, характеризувати особливості будови та властивості серцевого м'яза, серцевий цикл, автоматію роботи серця, рух крові по судинах, артеріальний тиск крові, зображати схематично серце та кровоносно-судинну систему людини.

3. Математика	Проводити обчислення, застосовуючи правила перетворення виразів.
---------------	--

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
1. Гідравлічний опір.	сили тертя, які виникають у рідині при її русі й спричиняють втрати напору або опір руху тіла з боку оточуючої його рідини.
2. Тиск.	фізична величина, яка чисельно дорівнює силі, що діє на одиницю площі поверхні тіла та діє за напрямом зовнішньої нормалі до цієї поверхні.
3. Лінійна швидкість кровотоку.	відстань, яку долає будь-яка часточка крові за одиницю часу.
4. Об'ємна швидкість кровотоку.	об'єм крові, що проходить через певну судину за одиницю часу.
5. Робота.	фізична величина, що визначає енергетичні витрати на переміщення фізичного тіла, чи його деформацію.
6. Потужність.	робота, що виконана за одиницю часу, або енергія, передана за одиницю часу.
7. Коефіцієнт корисної дії.	відношення виконаної роботи до загальних енергетичних затрат на її виконання
8. Пульсова хвиля.	коливання стінки судини під впливом пульсуючого току крові в аорті і крупних судинах.
9. Хвилинний об'єм крові.	кількість крові, що виштовхується шлуночком серця за 1 хвилину.
10. Систолічний об'єм крові.	кількість крові, що виштовхується серцем у момент систоли за 1 хвилину.
11. Пульсовий тиск.	різниця між систолічним і діастолічним тиском.
12. Середній артеріальний тиск	сума діастолічного і $1/3$ пульсового тиску, що являє собою рушійну силу кровотоку, виражає енергію безперервного руху крові.

4.2. Теоретичні питання до заняття:

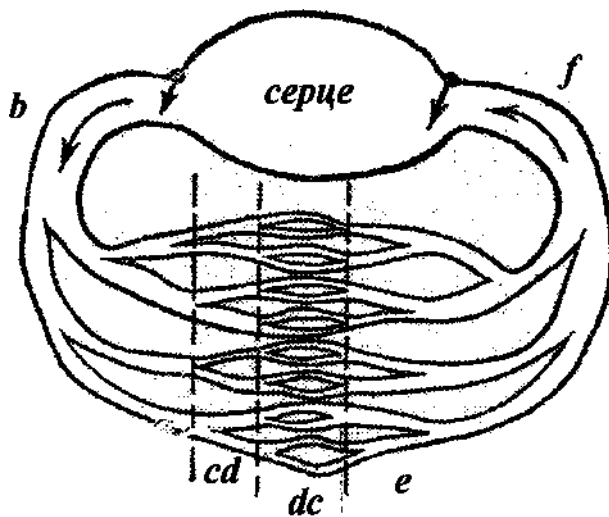
1. Будова серцево-судинної системи.
2. Будова серця.
3. Ламінарна та турбулентна течія, число Рейнольдса.
4. Основне рівняння гідродинаміки.
5. Залежність швидкості руху крові від площі поперечного перерізу судин.
6. Кров'яний тиск, зміна кров'яного тиску в різних відділах судинної системи.
7. Робота серця.

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

1. Оволодіти технікою розв'язування типових та ситуаційних задач.
2. Навчитися вимірювати артеріальний тиск методом Короткова (тонометр, фонендоскоп).

Зміст теми:

Гемодинамікою називається розділ біомеханіки, в якому розглядаються питання руху крові у судинній системі живого організму. З точки зору фізики кровоносна система людини – це складна замкнута система послідовно і паралельно сполучених еластичних трубок різного діаметра і довжини (аорта, артерії, артеріоли, капіляри, вени і вени). Оскільки стінки судин еластичні, то вони мають пружні властивості, завдяки яким кров рухається по цих судинах так, як будь-яка рідина по еластичних трубках. Швидкість руху крові по судинах організму мала, тому потік її руху можна приймати за *ламінарний*.



Малюнок 1

Кров рухається в судинній системі завдяки енергії, що передається їй роботою серця. На малюнку 1 подано схематичне зображення великого кола кровообігу. З лівого шлуночка *a* кров переходить в аорту *b*, звідти в артерії, артеріоли *cd* та капіляри *dc*. Далі капіляри переходять у вени *e*, які переходять в вени. Дрібні та великі вени утворюють систему порожнистої вени, яка постачає кров в праве передсердя. При переході від аорти до капілярів загальна площа поперечного перерізу судин збільшується. Хоч діаметр кожного капіляра дорівнює 4-10 нм,

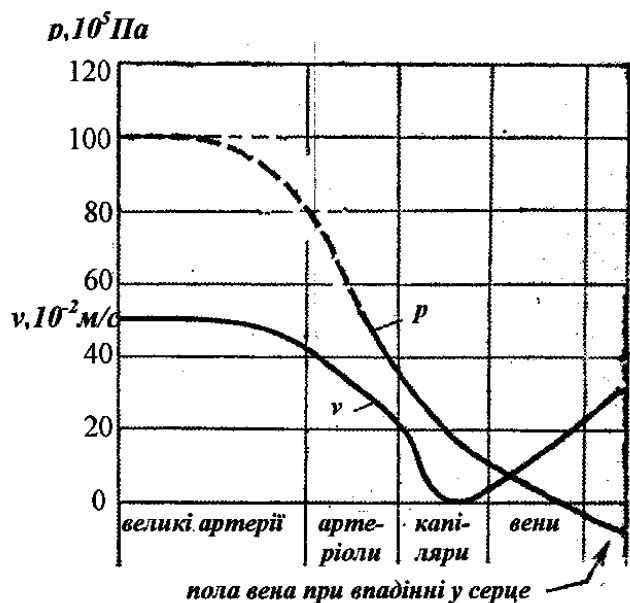
але кількість їх у тілі людини доходить до 100-160 мільярдів, а тому площа поперечного перерізу всіх капілярів у 600-800 разів більша від площі поперечного перерізу всіх артерій. Далі капіляри збираються у дрібні вени, потім у великі і при цьому загальна площа поперечного перерізу вен зменшується і велике коло кровообігу закінчується двома порожнистими венами, що входять в праве передсердя. Отже, при скороченні серцевого м'яза

(систола) кров виштовхується з серця в аорту і в розгалужуючи від неї артерії. Завдяки еластичності стінок великих артерій, вони приймають під час систоли більше крові, ніж її відтікає до периферії. Це і створює *систоличний тиск*, тобто надлишковий над атмосферним тиск, який в нормі в середньому становить 120 мм рт. ст. (16 кПа). Хвиля підвищеного тиску крові швидко поширюється вздовж артеріальної частини судинної системи і викликає коливання стінок її більш дистальних відділів. Ця хвиля тиску називається пульсовою хвилею, швидкість поширення якої залежить від пружних властивостей судинних стінок та густини має порядок 6-8 м/с і визначається за формулою:

$$g = \sqrt{\frac{Eh}{\rho d}},$$

де E – модуль пружності стінки судини, h – товщина стінки судини, d – діаметр просвіту судини, ρ – густина крові.

Під час розслаблення серця (*період діастолі*) стінки аорти і артерій скорочуються до початкового стану, проштовхуючи в наступні ділянки судинної системи. Внаслідок цього рух крові має безперервний характер із швидкістю у великих судинах порядку 0,3 – 0,5 м/с. Тиск крові при цьому знижується до 60-70 мм рт. ст. (*діастолічний тиск*).



Малюнок 2

Згідно основного рівняння гідродинаміки відомо, що швидкість руху рідини в трубі зі змінним перерізом обернено пропорційна площі поперечного перерізу. Отже, швидкість руху крові на різних ділянках великого кола кровообігу різна. В артеріях вона становить 0,5 м/с, в артеріолах – 10-30 см/с, у капілярах – не більше 0,5 мм/с. У венах швидкість крові зростає і в порожнистих венах вона наближається до швидкості крові в аорті.

Опір течії рідини тим більший, чим менший діаметр трубок, по яких протікає рідина. В артеріолах швидкість крові ще велика, внутрішнє тертя тут дуже велике і багато енергії витрачається на його подолання. Тут відбувається різке падіння кров'яного тиску до 10-30 мм рт. ст. У капіляри кров надходить під незначним тиском. Цей тиск продовжує спадати у венах (мал. 2). У великих венах біля серця тиск стає на кілька мм рт. ст., меншим атмосферного. Кров при цьому рухається під впливом присмоктуючої дії грудної клітини при вдиху. Для того, щоб визначити кров'яний тиск, артерію стискають через шкіряні покрови і визначають величину зовнішнього тиску, який зрівноважує тиск крові на стінки артерії.

Динамічний тиск безкровним методом безпосередньо виміряти ми не можемо. З допомогою сфігмоманометра, зупинивши рух крові в артерії, ми можемо виміряти повний максимальний тиск крові (*метод Короткова*).

Серцю людини властива автоматія. Воно виконує механічну роботу з певною періодичністю. Загальну роботу серця можна визначити як суму роботи лівого і правого шлуночків:

$$A_c = A_l + A_n = pV_{yd} + \frac{m\mathcal{Q}^2}{2},$$

де P – середній тиск, під яким кров викидається в аорту, V_{yd} – ударний об'єм крові, m – маса крові, \mathcal{Q} – швидкість руху крові.

Робота, яку виконує серце, це передусім робота лівого шлуночка. Робота правого шлуночка складає 0,15–0,20 від роботи лівого. Робота, яку виконує шлуночок, складається з двох компонентів: робота з нагнітання крові проти тиску в аорті і робота на надання крові кінетичної енергії:

Лабораторна робота

Тема: Вимірювання артеріального тиску методом Короткова.

Мета: навчитися вимірювати артеріальний тиск методом Короткова.

Обладнання: сфігмоманометр чи сфігмотонометр, фонендоскоп.

Порядок виконання роботи

1. Після 5 хвилинного відпочинку піддослідного, накласти манжету на оголене плече на 2-3 см вище ліктвової ямки так туго, щоб між нею і шкірою проходив один палець.
2. Знайти пульсацію на плечовій артерії в ліктвовому згині або на променевої артерії, і нагнітати повітря в манжету до тих пір, поки тиск у ній не перевищить на 30 мм рт. ст. той, при якому перестає визначатися пульсація плечової або променевої артерії.
3. Прикласти мембрану фонендоскопа на область пульсації плечової артерії в ліктвовій ямці та повільно (зі швидкістю 2-3 мм рт. ст. за секунду) випускати повітря з манжети.
4. Систолічний артеріальний тиск визначити за моментом появи перших тонів, діастолічний артеріальний тиск визначити в момент зникнення останнього тону.
5. Випустити повністю повітря з манжети та через 1-2 хв провести повторне вимірювання.
6. Сформулювати висновок.

Матеріали для самоконтролю:

А. Завдання для самоконтролю (тести):

1. Пульсова хвиля – це...
 - А. швидкість кровотоку у великих артеріях;
 - В. частота пульсу;
 - С. систолічний тиск;

- D. хвиля підвищеного тиску, що поширюється в аорті і артеріях;
 E. діастолічний тиск.
2. Чому швидкість крові у капілярах найменша?
 A. тому, що площа перерізу капіляра найменша;
 B. тому, що загальна площа перерізу капілярів найменша;
 C. тому, що там найменший тиск;
 D. тому, що капіляри далеко від серця;
 E. тому, що там найбільший тиск.
3. Чи може систолічний тиск бути меншим за діастолічний?
 A. так, при деяких хворобах;
 B. так, завжди;
 C. ніколи;
 D. це залежить від методу вимірювання;
 E. завжди.
4. Робота серця за одне скорочення приблизно дорівнює...
 A. 1мДж;
 B. 1кДж;
 C. 1Дж;
 D. 10Дж;
 E. 0,1Дж.
5. Метод вимірювання тиску крові за Коротковим ґрунтується на...
 A. катетеризації великої кровоносної судини зондом з електроманометром;
 B. введенні в кровоносну судину порожнистої голки, з'єднаної з манометром;
 C. підрахунку пульсу;
 D. фіксації аудіо ефектів від вібрації стінок судин під час турбулентної течії крові та їх послабленні під час ламінарної течії крові кровоносними судинами;
 E. визначення в'язкості крові.

Б. Задачі для самоконтролю:

Задача 1. Серце людини, що знаходиться в спокої за час $t = 1$ хв викидає в аорту $V_1 = 5$ л крові проти середнього тиску $P_1 = 90$ мм.рт.ст.(12кПа), а при фізичному навантаженні $V_2 = 25$ л проти тиску $P_2 = 140$ мм.рт.ст.(18кПа). Визначити у скільки разів збільшиться робота, що виконується серцем при навантаженні. Кінетичною енергією крові знехтувати.

Задача 2. Діаметр артерії рівний $d = 0,4$ см, товщина стінки $h = 0,4$ см, довжина судини $L = 10$ см. Визначити за який час в цій судині проходить пульсова хвиля, якщо модуль пружності артерії $E = 10^6$ Па. Густина крові ρ прийняти рівною густині води.

Література.

Основна:

1. Іщейкіна Ю. О. Медична і біологічна фізика : навч. посібник / Іщейкіна Ю. О., Макаренко В. І., Тронь Н. В. – Полтава : Шевченко Р. В., 2012. – 352 с.
2. Іщейкіна Ю. О. Медична і біологічна фізика : навч. посібник / Іщейкіна Ю. О., Макаренко В. І., Тронь Н. В. – 2-ге видання. – Полтава : Шевченко Р. В., 2014. – 352 с.
3. Костюк П. Г. Біофізика / П. Г. Костюк, В. Л. Зима, І. С. Магура, М. С. Мірошніченко, М. Ф. Шуба. – К. : ВПЦ «Київський університет», 2008. – 567 с.
4. Лопушанський, Я. Й. Збірник задач і запитань з медичної і біологічної фізики : навч. посібн. для студ. вищ. мед. навч. закл. III-IV рівн. акр. / Я. Й. Лопушанський. – 3-є вид., доповн. і випр. – Вінниця : Нова книга, 2010. – 584с.
5. Медична і біологічна фізика (практикум) / за ред. О. В. Чалого. – К.: Книга – плюс, 2003. – 2017 с.
6. 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.
7. Медична і біологічна фізика. / О. В. Чалий, Я. В. Цехмістер, Б. Т. Агапов та ін. / За ред. О. В. Чалого. – К. : Книга плюс, 2004. – 751 с.
8. 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.
9. Медична та біологічна фізика : нац. підручник для студ. вищ. мед. (фарм.) навч. заклад. III-IV р. акред. / за ред. О.В. Чалого [Чалий О.В., Цехмістер Я.В., Агапов Б.Т., Чалий К.О., Стучинська Н.В., Меленевська А.В., Мурашко М.І., Олійник О.І., Радченко Н.Ф.]. – 2-ге вид. – Вінниця : Нова Книга, 2017. – 528 с.
10. 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. Агапов Б. Т. Лабораторный практикум по физике. / Агапов Б. Т., Масютин Г. В., Островерхов П. И.– М. : Высшая школа, 1982. – 355 с.
2. Владимиров Ю. А. Биофизика / Владимиров Ю. А., Роцупкин Д. И., Потапенко А. Я., Деев А. И. / Под ред. Ю. А. Владимирова. – М. : Медицина, 1983. – 272 с.
3. Вольккенштейн М. В. Биофизика. / Вольккенштейн М. В. – М. : Высшая школа, 1981.– 575 с.
4. Доброва В. Є. Біофізика та медична апаратура: Навч. посібн. для студ. вищ. навч. закл. / В. Є. Доброва, В. О. Тіманюк. – К. : Професіонал, 2006. – 200 с.
5. Ємчик Л. Ф. Медична і біологічна фізика : Підручник / Л. Ф. Ємчик, Я. М. Кміт. – Львів : Світ, 2003. – 592 с.

6. Зима В. Л. Біофізика. Збірник задач / Зима В. Л. – К. : Вища шк., 2001. – 124 с.
7. Костюк П. Г. Біофізика / П. Г. Костюк, В. Л. Зима, І. С. Магура, М. С. Мірошніченко, М. Ф. Шуба. – К. : ВПЦ «Київський університет», 2008. – 567 с.
8. Лабораторный и лекционный эксперимент по медицинской и биологической физике / Под ред. Кройтора Д. С., Ремизова А. Н., Самойлова В. О. – Кишинев : Лумина, 1983. – 328 с.
9. Лопушанський Я. Й. Збірник задач і запитань з медичної і біологічної фізики : навч. посібн. для студ. вищ. мед. навч. закл. III-IV рівн. акр. / Я. Й. Лопушанський. – 3-є вид., доповн. і випр. – Вінниця : Нова книга, 2010. – 584 с.
10. Медична і біологічна фізика. / О. В. Чалий, Я. В. Цехмістер, Б. Т. Агапов та ін. / За ред. О. В. Чалого. – К. : Книга плюс, 2004. – 751 с.
11. Медична і біологічна фізика: Практикум : навч.-метод. посіб. для вищ. мед. навч. закл. / за ред. О. В. Чалого. – К. : Книга плюс, 2003. – 217 с.
12. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика. / Ремизов А. Н. – М. : Высш. шк., 1992. – 560 с.
13. Ремизов А. Н., Исакова Н. Х., Максина Л. Г. Сборник задач по медицинской и биологической физике. – М: Высш. шк., 1978. – 238 с.
14. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика : Учебник для студ. мед. спец. высших учеб. заведений / А. Н. Ремизов. – М. : Высшая школа, 1987. – 638 с.
15. Ремизов А. Н. Сборник задач по медицинской и биологической физике : Учеб. пособие для студ. мед. спец. вузов / А. Н. Ремизов, Н. Х. Исакова, А. Г. Максина. – М. : Высшая школа, 1987. – 160 с.
16. Русяев В. Ф. Медицинская физика (Сборник вопросов и задач) / Русяев В. Ф., Мищенко С. В., Пронина Н. В. – Полтава, АСМИ, 2001. – 158 с.
17. Федешин Я. І. Фізика з основами біофізики. / Федешин Я. І. – Львів : Світ, 2005. – 400 с.
18. Шевченко А. Ф. Основи медичної і біологічної фізики. / Шевченко А. Ф. – К. : Медицина, 2008. – 656 с.

Розробник:

Макаренко О.В. – старший викладач, кандидат педагогічних наук.