

## З ІСТОРІЇ МЕДИЧНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ

УДК 378.147.1:004

DOI 10.11603/me.2414-5998.2018.3.8819

**В. Д. Дідух, Ю. А. Рудяк, А. Б. Горкуненко, Л. В. Наумова***ДВНЗ “Тернопільський державний медичний університет імені І. Я. Горбачевського  
МОЗ України”*

### ІСТОРІЯ СТАНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ МЕДИЧНОЇ ФІЗИКИ (ГЕМОДИНАМІКИ, ЗВУКОВИХ ТА УЛЬТРАЗВУКОВИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ) (ЧАСТИНА 2)

**V. D. Didukh, Y. A. Rudyak, A. B. Horkunenko, L. V. Naumova***I. Horbachevsky Ternopil State Medical University*

### THE HISTORY OF FORMATION AND DEVELOPMENT OF MEDICAL PHYSICS (HEMODYNAMICS, SOUND AND ULTRASOUND METHODS OF THE STUDY) (PART 2)

**Мета роботи** – висвітлити історичні шляхи становлення і розвитку гемодинаміки, звукових та ультразвукових методів дослідження як складових частин медичної фізики.

**Основна частина.** У статті розглянуто історичні етапи розвитку гемодинаміки, звуку та ультразвукових досліджень.

Показано, як змінювалась наукова картина світу впродовж тисячоліть, розглянуто взаємодоповнюваність і спадкоємність наукових знань.

Відзначаючи вклад у розвиток науки вчених попередніх поколінь, які вплинули на вибір і напрямок шляхів розвитку науки й сприяли її прогресу, Ісаак Ньютон писав: “Якщо я й бачив далі від інших, то через те, що став на шлях велетнів”.

**Висновок.** У статті розглянуто фізичні основи гемодинаміки, історичні етапи визначення артеріального тиску крові, звукові і ультразвукові методи дослідження.

**Ключові слова:** історія; медична фізика; становлення; розвиток.

**The aim of the work** – to highlight the historical ways of the formation and development of hemodynamics, sound and ultrasound methods of research as components of medical physics.

**The main body.** The article deals with the historical stages of the development of hemodynamics, sound and ultrasound research.

It is shown how the scientific picture of the world has changed for millennia, the complementarity and continuity of scientific knowledge are considered.

Noting the contribution to the development of science of previous generations of scientists who influenced the choice and direction of the pathways for the development of science and contributed to its progress, Isaac Newton wrote: “If I have seen further, it is by standing upon the shoulders of giants”.

**Conclusion.** In the article the physical fundamentals of hemodynamics, historical stages of blood pressure determination, sound and ultrasonic methods of research are considered.

**Key words:** history; medical physics; formation; development.

**Вступ.** Вперше в історії медицини англійський фізіолог, анатом і лікар Вільям Гарвей (рис. 1) у праці “Анатомічне дослідження про рух серця і крові у тварин” (1628) експериментально довів, що кров рухається від шлуночків серця по артеріях і повертається до його передсердя венами. Тим самим він спростував твердження римського лікаря Галена (129–201), що панувало близько 1500 років, яке стверджувало, що серце постійно виробляє кров. Про те, яку роль виконують при цьому легені, він не знав, бо кисень тоді ще не був відкритий. Таєм-

ницю замкнutoї системи кровообігу привідкрив італійський біолог, анатом і лікар Марчело Мальпігі (1678), який першим дослідив капіляри – ланку кровоносних судин, яка сполучає артерії і вени.

Звукові методи дослідження організму людини відомі ще з античних часів. Історія розвитку медицини засвідчує, що тибетські монахи використовували звуки для лікування багатьох хвороб людини. Аристотель писав: “Звук є те, що приводить густе повітря у неперервний рух, доводячи його до органа слуху. Орган же слуху безпосередньо пов’язаний з повітрям. Оскільки звук знаходиться в повітрі,

© В. Д. Дідух, Ю. А. Рудяк, А. Б. Горкуненко, Л. В. Наумова

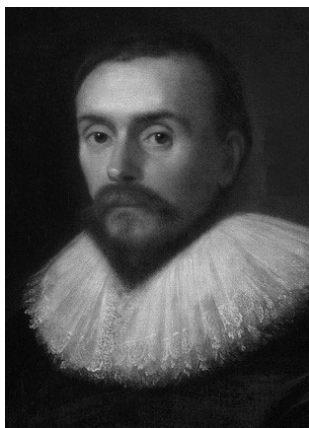


Рис. 1. Вільям Гарвей.



Рис. 2. Георг фон Бекеші.

повітря всередині органа слуху приводиться в рух рухом зовнішнього повітря” [1]. І лише через 2000 років американський фізик Георг фон Бекеші (1899–1972) (рис. 2) дослідив процес звукового сприйняття: сприйняття звукових коливань барабанною перетинкою, передачу їх через слухові кісточки на мембрану внутрішнього вуха, виникнення гідравлічних коливань у завитку і перетворення їх у кодовані нервові імпульси в її базиллярній мембрані, на якій розташовані рецептори, чому сприяли дослідження Гельмгольца, Роафа, Флетчера [2]. Згідно з резонансною теорією Гельмгольца, окремі частини основної мембрани – “струни” коливаються під дією звуків певної частоти і їх сприйняття відбувається у різних ділянках завитка вуха, а саме звуки високої частоти викликають коливання коротких волокон при основі завитка, а низькочастотні коливання приводять у коливальний рух довгі волокна біля завитка вуха. Бекеші пояснив, як саме сприймається звук. На початку базиллярної мембрани, де нитки більш жорсткі, уловлюються високі частоти, а у верхній її частині з гнучкими нитками – низькі частоти. Спіралеподібна будова завитка збільшує її довжину. Довжина мембрани визначає діапазон частот, що сприймаються, від 16 до 20 000 Гц [3].

За видатні наукові дослідження, проведені у 30–40-х роках ХХ ст., Георг фон Бекеші отримав Нобелівську премію з фізіології і медицини (1961).

**Мета роботи** – висвітлити історичні шляхи становлення і розвитку гемодинаміки, звукових та ультразвукових методів дослідження як складових частин медичної фізики.

#### Основна частина.

##### Гемодинаміка

Значний крок до розуміння течії рідини (крові) зробив знаменитий швейцарський вчений Даніель Бернуллі (1700–1782) (рис. 3).

Його праця “Гідродинаміка” містить фізичні основи механіки рідини. Бернуллі показав, що сума статичного тиску  $P$ , гідростатичного тиску, зумовленого вагою стовпа рідини  $h$ , і динамічного тиску  $\frac{\rho v^2}{2}$  залишається постійною вздовж лінії течії рідини:  $P_1 + \rho gh_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{\rho}{2} v_2^2$ .

На підставі рівняння Бернуллі можна обґрунтувати в судинах явища аневризми і тромбозу [4].

У медицині знайшли широке застосування інжектори – прилади для дозування подачі пацієнту газоподібного препарату, та інгалятори, які дозволяють вводити в носоглотку лікарські речовини у розпиленому вигляді, принцип роботи яких оснований на законах, відкритих Даніелем Бернуллі.

Фізик і гідробудівник Готтхільф Гаген (1797–1884) та французький медик і фізик, член французької медичної академії Жан Луї Пуазейль (1799–1869) (рис. 4) дослідним шляхом встановили, що середня швидкість  $v_{cp}$  ламінарного (ньютонівського) руху рідини по трубі з постійним перерізом прямо пропорційна градієнту тиску:  $\frac{\Delta p}{\Delta \ell} = \frac{p_1 - p_2}{\ell}$

( $p_1$  і  $p_2$  – тиск на початку і в кінці труби довжиною  $\ell$ ), квадрату радіуса  $R$  труби і обернено пропорційно коефіцієнту в’язкості  $\eta$  рідини (закон Гагена – Пуазейля):  $v_{cp} = \frac{p_1 - p_2}{\ell} \cdot \frac{R^2}{8 \cdot \eta}$ .

Л. Пуазейль експериментально визначив потужність серця, винайшов прилад для визначення в’язкості рідини.

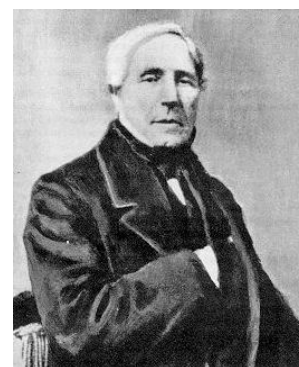


Рис. 3. Даніель Бернуллі. Рис. 4. Жан Луї Пуазейль.

Англійський фізик й інженер Осборн Рейнольдсон (1842–1912) дослідив, що в певних умовах характер течії рідини може змінюватися від ламінарного (шарового) до турбулентного (вихрового). Він отримав критерій переходу від ламінарного руху рідини густиною  $\rho$ , з коефіцієнтом в’язкості  $\eta$  з швидкістю  $v$ , через переріз діаметром  $d$  до турбулентного:  $Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\eta}$ .

Він встановив, що доки в круглій трубі (судині)  $Re < 2000$ , течія ламінарна, у протилежному випадку – турбулентна.

Число Рейнольдса у вені сягає 500–700, а в капілярі – 0,001.

Про особливості течії крові в капілярах свідчить ефект Фареуса – Ліндквіста: із зменшенням радіуса капілярів менше 150 мкм в'язкість крові зменшується, що зумовлено міграцією еритроцитів в осьовий кровотік з утворенням пристінкового шару плазми.

Завдяки інерції кров не переміщується відразу вздовж аорти, що приводить до збільшення тиску на еластичні стінки аорти. Оскільки натяг стінки в певній ділянці аорти більший, ніж у наступній, виникає сила, яка спричиняє рух крові. Таким чином, фронт тиску буде поширюватися вздовж судини.

Природу пружності артерій і пульсового тиску в артеріях дослідив фізик і математик Томас Юнг (1772–1829).

Швидкість пульсової хвилі в артеріях визначається рівнянням: 
$$v = k \cdot \sqrt{\frac{E \cdot h}{2 \cdot \rho \cdot r}} = 6 - 8 \text{ м/с,}$$

де  $E$  – модуль пружності стінки судини,  $r$  – внутрішній радіус,  $h$  – товщина стінки судини,  $\rho$  – густина крові,  $k$  – коефіцієнт пропорційності.

Видатний французький фізик і математик П'єр Симон Лаплас (1749–1827) (рис. 5) розробив теорію капілярних явищ, вивів формулу для капілярного тиску (формула Лапласа): під викривленою поверхнею рідини, крім внутрішнього тиску, створюється ще й додатковий тиск, обумовлений кривизною поверхні. Величина додаткового тиску  $\Delta P$  визначається за формулою: 
$$\Delta P = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

де  $R_1$  і  $R_2$  – радіуси кривизни двох нормальних взаємно перпендикулярних перерізів поверхонь рідини. На пухирець газу, який потрапив у кровоносну судину, крім статичного тиску крові, діє і додатковий (лапласівський) тиск, зумовлений кривизною меніска. Закупорювання ним коронарної артерії призводить до інфаркту міокарда, а попадання у мозок викликає втрату свідомості, порушення зору, координації руху, параліч і навіть смерть.

Патолог, гігієніст, біофізик О. Шклярєвський, родом з Чернігівщини (1839–1906), досліджував гемодинаміку при інфаркті. Після закінчення медичного факультету Московського університету перебував на посаді професора медичної фізики Київського університету. Автор багатьох праць з питань фізіології та патології крові, проблем запалення. Видав “Лекции медицинской физики” (1881–1882).

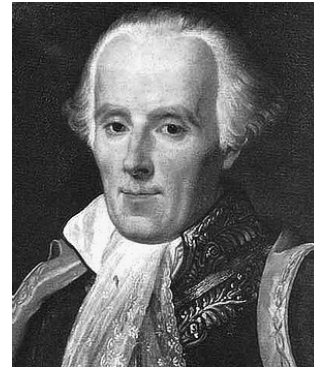


Рис. 5. П'єр Симон Лаплас.

#### Звук

Німецький фізіолог Едуард Вебер (1795–1878) і німецький фізик Густав Фехнер (1801–1887) встановили основний психофізичний закон, який визначає зв'язок між інтенсивністю відчуття і силою подразнення (світла, звуку), яке діє на органи чуття: якщо сила подразнення буде змінюватися в геометричній прогресії, то інтенсивність відчуття змінюватиметься в арифметичній прогресії (рис. 6, 7).



Рис. 6. Едуард Вебер.

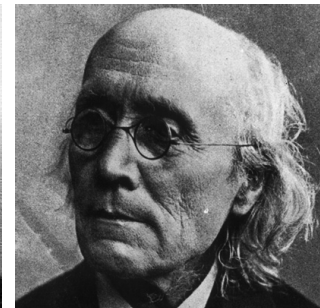


Рис. 7. Густав Фехнер.

Першим із методів звукової діагностики була аускультация, цей метод відомий ще з II ст. до н. е., полягає у вислуховуванні звуків, що виникають в організмі людини, прикладаючи вухо до поверхні тіла або стетоскоп, фонендоскоп, стетофонендоскоп.

Стетоскоп у 1816 р. винайшов основоположник діагностичного методу аускультатії – французький лікар Рене Лаеннек (рис. 8–10).

Акустичні властивості стетоскопа відповідають параметрам людського вуха. Стетоскоп підсилює звукові коливання завдяки виникненню у ньому стоячих хвиль, максимум яких спостерігається на віддалі від джерела звуку, що дорівнює четвертій частині довжини хвилі (рис. 11).

У 1881 р. Самуель Зігфрід Карл Ріттер фон Баш винайшов сфігмоманометр, який складався із заповненої водою ємності і манометра, за допомогою якого визначався тиск, при якому зникав артеріальний пульс. Моменти зникнення пульсу на шкірі вище артерії та артеріального пульсу збігалися.



Рис. 8. Хіменес Луїс Аранда зобразив на своїй картині безпосередню аускультацию.



Рис. 9. Рене Лаеннек вислуховує пацієнтку за допомогою стетоскопа.



Рис. 10. Лікар проводить аускультацию за допомогою фонендоскопа.



Рис. 11. Стетоскопи XIX століття.

У 1886 р. Сципіоне (Шипіоне) Ріва-Роччі (1863–1937) (рис. 12) опублікував статтю “Новий сфігмоманометр”, у якій описав метод визначення тиску крові в артерії. Цей метод полягає у стисканні плечової артерії за допомогою спеціальної манжети, яка являє собою гумовий рукав шириною 4–5 см і довжиною 40 см, що щільно обгортає передпліччя людини і з’єднується з ртутним манометром. У манжету за допомогою гумового балона нагнітали повітря доти, поки не зникав пульс на променевої артерії. Величину артеріального тиску оці-

нювали за показниками манометра у момент появи пульсу на променевої артерії під час поступового зниження тиску в манжеті (рис. 13).



Рис. 12. Сципіоне (Шипіоне) Ріва-Роччі.

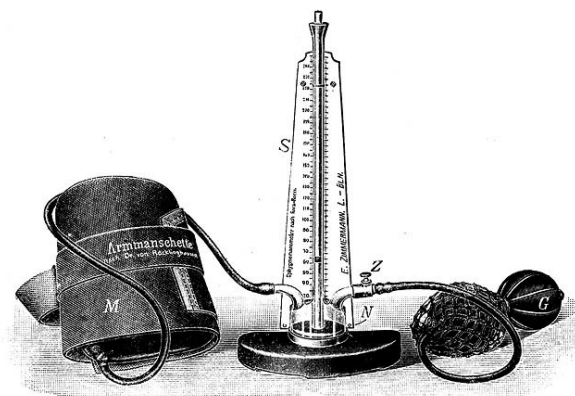


Рис. 13. Сфігмоманометр Сципіоне Ріва-Роччі.

Російський вчений Микола Коротков (1874–1920) (рис. 14), який зробив значний внесок у розвиток судинної хірургії у XX ст., розробив звуковий метод визначення артеріального тиску. Звуки, які чути при вимірюванні кров’яного тиску, називають тонами Короткова. Наведемо статтю, яка була опублікована ним в “Известиях Императорской Военно-медицинской академии” в Петербурзі: “Рукав Ріва-Роччі накладається на середню третину плеча; тиск у рукаві швидко підвищується до повної зупинки кровообігу нижче рукава. Потім, при падінні ртуті манометра, тоді ж, дитячим стетоскопом дослідник вислуховує артерію нижче рукава. Спочатку не чути жодних звуків. При падінні ртуті манометра до відомої висоти з’являються перші короткі тони, поява яких вказує на проходження пульсової хвилі під рукавом. Отже, цифри манометра, при яких появився перший тон, відповідають максимальному тиску. При подальшому падінні ртуті в манометрі вислуховують систолічні компресійні шуми, які переходять знову в тони (вторинні). Зрештою всі звуки зникають. Зникнення звуків вказує на вільну

прохідність пульсової хвилі. Таким чином, стрілка манометра вкаже на величину мінімального кров'яного тиску” [5].

Уперше (1847) з метою запису кров'яного тиску крові ввів графіку у методику фізіології видатний німецький фізіолог, дослідник кровообігу Карл Людвіг (1816–1895) (рис. 15). Він же встановив наявність загального судинорухового центру продовгуватого мозку, який регулює величину просвіту судин. У 1793 р. Міжнародний астрономічний союз присвоїв ім'я Карла Людвіга кратеру на видимому боці Місяця.



Рис. 14. Микола Коротков.



Рис. 15. Карл Людвіг.

Кімограф Людвіга складався з U-подібної трубки манометра, з'єднаної з порожнистою голкою латунної труби. Трубка манометра мала поплавок із слонової кістки, до якого була прикріплена паличка з голкою, яка робила позначки на покритому заковченим папером барабані, що обертався (рис. 16).

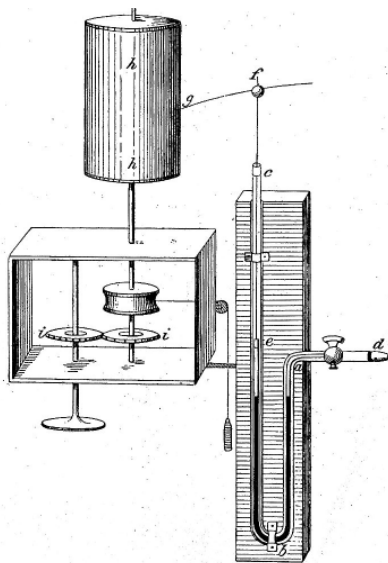


Рис. 16. Кімограф Людвіга.

У 1880 р. французькі фізики брати П'єр і Поль Кюрі відмітили, що при стисканні кварцу з двох

сторін на його гранях перпендикулярно напрямку стискування з'являються електричні заряди. Це явище було назване п'єзоелектром. Під час Першої світової війни фізик Поль Ланжевєн (1872–1946) запропонував використати це явище для виявлення підводних човнів, рух яких спричиняє ультразвукові хвилі, які, діючи на п'єзоелектрик, створюють змінне електричне поле, що індукує струм, який можна виміряти (рис. 17) [6].

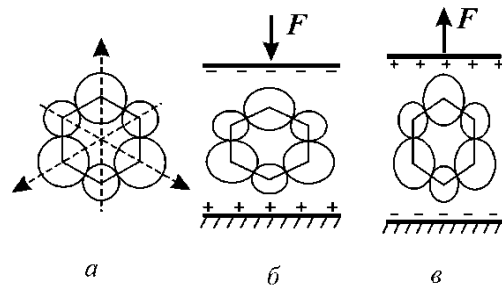


Рис. 17. Ілюстрація явища п'єзоелекту: а) спрощена структура кристала кварцу; б) деформація стиску; в) деформація розтягу.

Ультразвук отримують за допомогою зворотного п'єзоелектричного ефекту (ПЕЕ), фізична суть якого полягає в тому, що при прикладанні до торцевої поверхні пластини з кварцу чи титанату барію змінної електричної напруги пластинка буде періодично змінювати свою товщину (стиск – розтяг). У свою чергу, це приведе до того, що в прилягаючих до пластини шарах зовнішнього середовища виникають розрідження і згущення частинок середовища, тобто виникають механічні коливання ультразвукової частоти.

Генератором ультразвукових хвиль є передавач, який одночасно відіграє роль приймача відбитих сигналів. Генератор працює в імпульсному режимі, випромінюючи близько 1000 імпульсів за секунду. У проміжках між генеруванням ультразвукових хвиль п'єзодатчик фіксує відбиті сигнали.

Серед перших, хто застосував ультразвук (УЗ) у медичній практиці, був Karl Dussik (1937), якому вдалося, використовуючи два датчики, локалізувати пухлину мозку.

У 1940 р., незалежно один від одного, Джордж Людвіг, Дуглас Ховрі і Джон Вайлд дослідили, що УЗ-сигнали, які надіслані датчиком в організм, відбиваючись від структур з різною щільністю, повертаються до нього. У цей час намагалися за допомогою УЗ виявити камені в жовчному міхурі, а через десять років УЗД-дослідження застосовували в офтальмології. Тоді ж Кейде, використовуючи УЗ-датчик з частотою 60 КГц, визначив об'єм серцевого м'яза.

Британець Джон Вайлд (1914–2009) – лікар і біолог, разом із Дональдом Нілом у 1949 р. по однопроменевому УЗ-дослідженню в А-режимі виявив потовщення кишечника після хірургічної операції, і пізніше діагностував пухлину кишечника та грудної залози, де вони встановили, що зразки піків А-режиму були різні.

Браун і Грінвуд (1958) застосували УЗ в гастроентерології, у 1963 р. проводили дослідження сечового міхура, Холландер провів дослідження нирки.

Особливе значення в історії УЗД-досліджень зайняли дослідження Яна Дональда (1958) органів черевної порожнини і ним же у 1964 р. було виміряно розміри голівки плода, що поклато початок нової ери в акушерстві.

Основними режимами ультразвукової діагностики є ехографія, сонографія (ультразвукове сканування) та доплерографія. Ехографія – це одновимірне ультразвукове дослідження, в якому виділяють А-, В- та М-режими. При А-режимі відбиті від окремих елементів об'єкта імпульси формують на прямій лінії індикатора піки з великою амплітудою, що дозволяє вимірювати відстані між різними тканинами органа, глибину їх залягання, наявність стороннього тіла, пухлини тощо. Його використовують при морфологічному дослідженні ока та головного мозку. В-режим дає двовимірне чорно-біле зображення досліджуваних структур. При М-режимі використовують для дослідження рухомого органа – серця. При цьому методи віддзеркалені від рухомої стінки серця імпульси записуються у вигляді кривої лінії. За формою та розташуванням таких кривих визначають характер скорочень серця [7].

Австрійський фізик і математик Крістіан Доплер (1803–1853) (рис. 18) у 1842 р. теоретично обґрунтував залежність частоти звукових і світлових коливань, які сприймає спостерігач, від швидкості руху спостерігача і джерела коливань. Метод локації судин оснований на ефекті Доплера, який полягає у тому, що частота ультразвукових хвиль, відбитих від рухомого об'єкта, зокрема від еритроцитів у судинах, змінюється пропорційно змінам швидкості їхнього переміщення; це дозволяє реєструвати лінійну швидкість і напрямок потоку крові у судинах організму.

При роботі медичного доплерівського приладу на певні ділянки тіла людини спрямовуються ультразвукові хвилі, після чого відбувається прийом та аналіз відбитих від рухомих елементів крові у кровоносних судинах (головним чином еритроцитів) ехосигналів.



Рис. 18. Крістіан Доплер.

Датчик та еритроцит по черзі відіграють роль джерела та приймача ультразвукових хвиль. Датчик випромінює ультразвукові хвилі із частотою  $\nu_{дж}$ , приймачем яких є еритроцити:

$$\nu_{ep} = \nu_{дж} \frac{\nu_0 \pm \nu \cos \alpha}{\nu_0},$$

де  $\nu_{ep}$  – частота хвиль, які приймають еритроцити;  $\nu_0$  – швидкість ультразвуку в тканинах;  $\nu$  – швидкість руху еритроцитів.

Еритроцити, від яких відбивається хвиля, відіграють роль вторинного джерела, а приймачем (з частотою  $\nu_{пр}$ ) у цьому послуговує датчик.

Різниця  $\Delta\nu = \nu_{дж} - \nu_{пр}$ , яка залежить від швидкості руху елементів кровотоку, називається доплерівським

зсувом частоти:  $\nu_{дж} - \nu_{пр} = \frac{2\nu_{дж}\nu \cos \alpha}{\nu_0}$ .

Ультразвуковий медичний доплерівський прилад визначає зсув  $\Delta\nu$  таким чином: відбитий від елементів потоку крові ехосигнал накладається на первинний сигнал генератора і в подальшому визначається різниця частот між цими сигналами. Відбитий ехосигнал містить часозмінювальний спектр доплерівських частот у діапазоні 5–20 кГц, а швидкість руху стінок судин і серця дає доплерівський зсув від 0 до 1200 Гц [8].

Особливе місце серед методів доплерографії займають тривимірне доплерівське картування і тривимірне енергетична доплерографія. Ці методи дозволяють спостерігати об'ємну картину просторового розташування кровоносних судин у режимі реального часу.

**Висновок.** У статті розглянуто фізичні основи гемодинаміки, історичні етапи визначення артеріального тиску крові, звукові і ультразвукові методи дослідження.

#### Список літератури

1. Аристотель. Сочинения : в 4-х т. / Аристотель. – М. : Мысль, 1976. – Т. 1. – 412 с.
2. Рубинштейн С. Л. Основы общей психологии / С. Л. Рубинштейн. – СПб. : Издательство “Питер”, 2000. – С. 219–220.
3. Чолпаков В. М. Нобелевские премии. Учение и открытие / В. М. Чолпаков. – М. : Мир, 1987. – 368 с.
4. Biophysics and medical informatics: textbook / [V. P. Marzeniuk, V. D. Didukh, D. V. Vakulenko et al.]. – TSMU, Ukrmedknyha, 2004. – P. 110–112.
5. Сквозникова С. О. Історія розвитку вимірювання артеріального тиску від часів Римської імперії до сьогодення / С. О. Сквозникова, Н. М. Яцковська // Внутрішня медицина. – 2007. – № 5 (5).
6. Детлаф А. А. Курс фізики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворський, А. Б. Милковська. – К. : Вища школа, 1972. – Т. 1. – С. 78.
7. Історія ультразвуку. – Ultrasound.net.ua / material – ultrasound – diagnostic / istorija – iltrazvuku / ultrasound – history – 2/.
8. Фізичні основи променевих методів дослідження в медицині : посібник / І. І. Хаїмзон, В. А. Дяков, Б. Г. Іваніцький, В. Т. Желіба. – Вінниця ; К. : Глобус-прес, 2002. – С. 48–49.

#### References

1. Aristotel. (1976). *Sochineniya [Compositions]*. Moscow: Mysl [in Russian].
2. Rubinshteyn, S.L. (2000). *Osnovy obshchey psikhologii [The Basics of General Psychology]*. Saint-Petersburg: Izdatelstvo “Piter” [in Russian].
3. Cholpakov, V. M. (1987). *Nobelevskiye premii. Ucheniye i otkrytiye [Nobel Prizes. Scientists and discoveries]*. Moscow: Mir [in Russian].
4. Marzeniuk, V.P., Didukh, V.D., & Vakulenko, D.V. (2004). *Biophysics and Medical Informatics: textbook*. TSMU:Ukrmedknyha.
5. Skvoznikova, S.O., & Yatskovska, N.M. (2007). “Istoriia rozvytku vymiriuvannia arterialnogo tysku vid chasiv Rymaskoi imperii do sohodennia” [History of the measurement of blood pressure from the time of the Roman Empire to the present]. *Naukovo-praktychnyi zhurnal “Vnutrishnia medytsyna” – Scientific and Practical Journal “Internal Medicine”*, 5 [in Ukrainian].
6. Detlaf, A.A., Yavorskiy, B.M., & Milkovska, A.B. (1972). *Kurs fiziki [Physics course]*. Kyiv: “Vyshcha shkola” [in Russian].
7. *Istoriia ultrazvuku [Ultrasound history]*. – Ultrasound.net.ua / material – ultrasound – diagnostic / istorija – iltrazvuku / ultrasound – history – 2/.
8. Khaimzon, I.I., Diakov, V.A., Ivanitskiy, B.H., & Zheliba, V.T. (2002) *Fizychni osnovy promenyvkh metodiv doslidzhennia v medytsyni [The physical foundations of radiation methods in medicine]*. Vinnytsia; Kyiv: Hlobuspress [in Ukrainian].

Отримано 20.12.17

Електронна адреса для листування: horkunenkoab@tdmu.edu.ua