

УДК 378.147:378.4

[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-13\(41\)-680-688](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-13(41)-680-688)

Руднева Вікторія Миколаївна кандидат біологічних наук, доцент закладу вищої освіти, доцент кафедри медичної і біологічної фізики та інформатики, Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, тел.: (044) 454-49-13, <https://orcid.org/0000-0003-4224-8875>

СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ ЗАНЯТЬ З ОСНОВ РЕСПІРАТОРНОЇ МЕХАНІКИ КУРСУ «МЕДИЧНА АПАРАТУРА: ФІЗИЧНІ ТА БІОФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ»

Анотація. У статті запропоновано структуру та зміст занять з основ респіраторної механіки, що проводяться в межах курсу вибіркових дисциплін на кафедрі медичної і біологічної фізики медичного університету. Матеріал охоплює загальні біофізичні закономірності процесу дихання, без глибокого розуміння яких неможливе повне розуміння функціонування дихальної системи за нормальних умов та її змін при патологічних станах. Також невід'ємною частиною професійної компетентності сучасного медичного працівника та, відповідно, важливою складовою освітнього процесу в медичних закладах вищої освіти є знання та розуміння принципів роботи медичної техніки. Тому окрему увагу на заняттях приділено фізичним та біофізичним основам функціональної діагностики дихальної системи та роботи апаратів штучної вентиляції легень. Принципи, покладені у основу режимів контрольованої за тиском та об'ємом вентиляції, їх відмінність та особливості використання потребують спеціального розгляду з ретельним аналізом часового перебігу тиску, об'єму та потоку від часу.

Ефективнішому засвоєнню матеріалу сприяє висвітлення ролі термінів та понять респіраторної механіки в основних курсах математики і медичної та біологічної фізики, а також їх зв'язку з шкільними знаннями з природничих наук.

Результати апробації курсу показали, що здобувачі освіти високо оцінили його ефективність, практичну значимість і доступність. Навчальні цілі та програмні результати занять відповідають очікуванням студентів, сприяють розширенню їх уявлень про роль точних наук у медицині, формуванню системного клінічного мислення та матимуть широке застосування в майбутній професійній діяльності.

Ключові слова: медична і біологічна фізика, медична апаратура, фізичні та біофізичні принципи, респіраторна механіка, вища медична освіта.

Rudnieva Viktoriia Mykolaivna Candidate of Science, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Medical and Biological Physics and Informatics, Bogomolets National Medical University, Kyiv, tel.: (044) 454-49-13, <https://orcid.org/0000-0003-1763-0618>

STRUCTURE AND CONTENT OF BASICS OF RESPIRATORY MECHANICS LESSONS IN THE COURSE "MEDICAL EQUIPMENT: PHYSICAL AND BIOPHYSICAL PRINCIPLES"

Abstract. The article presents the structure and content of lessons on the basics of respiratory mechanics conducted as part of elective courses in the Department of Medical and Biological Physics at the Medical University. The material covers the general biophysical principles of the breathing process, which are essential for a comprehensive understanding of the respiratory system's functioning under normal conditions and its changes in pathological states.

Knowledge and understanding of the principles of medical equipment operation are also an integral part of the professional competence of modern healthcare professionals and, accordingly, a crucial component of the educational process in medical universities. Therefore, special attention during the lessons is given to the physical and biophysical principles of functional diagnostics of the respiratory system and the operation of mechanical ventilation devices. The principles underlying pressure- and volume-controlled ventilation modes, their differences, and features of use require detailed consideration with a thorough analysis of the time-based dynamics of pressure, volume, and flow.

Better material comprehension is facilitated by highlighting the role of terms and concepts in respiratory mechanics within core courses in mathematics, medical, and biological physics, as well as their connection to school-level knowledge in natural sciences.

The course's pilot implementation results showed that students highly appreciated its effectiveness, practical relevance, and accessibility. The educational goals and learning outcomes of the lessons met students' expectations, contributed to expanding their understanding of the role of exact sciences in medicine, fostered systemic clinical thinking, and will have broad applications in their future professional practice.

Keywords: medical and biological physics, medical equipment, physical and biophysical principles, respiratory mechanics, higher medical education.

Постановка проблеми. Основи системних знань про принципи роботи медичної апаратури, яка використовується в сучасній медицині для діагностики, лікування та профілактики захворювань, закладаються при вивченні фундаментальних природничих наук, насамперед дисципліни «Медична та

біологічна фізика», яка донедавна була обов'язковою та нормативною для всіх медичних спеціальностей. Знання та розуміння принципів роботи медичної апаратури є невід'ємною частиною професійних компетенцій сучасного фахівця в галузі охорони здоров'я та, відповідно, важливою складовою освітнього процесу в медичних закладах вищої освіти.

Актуальність розробки програм навчальних дисциплін, орієнтованих на формування системи знань про фізичні та біофізичні принципи дії медичної техніки, оволодіння основними принципами сучасних методів дослідження процесів живої природи, посилюється також тим, що в навчальних планах окремих медичних спеціальностей (наприклад, 227 «Фізична терапія, ерготерапія», 229 «Громадське здоров'я») наразі відсутня нормативна дисципліна «Медична та біологічна фізика».

Додаткові можливості для формування знань, умінь та навичок, що відповідають вимогам сучасного ринку праці та характеру майбутньої професійної діяльності, можуть надати вибіркові навчальні дисципліни, частка яких, згідно з Законом України «Про вищу освіту» №1556-VII від 01.07.2014 (ст.62 п.15) [1] «становить не менше 25% загальної кількості кредитів ЄКТС, передбачених для даного рівня вищої освіти».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Компетентнісний підхід став визначальним в сфері вищої освіти. Проблеми формування професійної компетентності майбутніх фахівців є предметом дослідження науковців, таких як З. Слєпкань, О. Дубасенюк, Е. Зеєра, Н. Кузьміної, С. Сисоевої, Н. Тализіної, та ін.

Інтеграція вищої медичної освіти України у Європейський освітній простір висуває нові вимоги не лише до змісту, а й до викладання та організації навчального процесу. Разом із цим, аналіз наукової літератури свідчить про те, що замало робіт [3, 5], які б висвітлювали навчання студентів на кафедрах медичної та біологічної фізики медичних університетів щодо фізичних принципів роботи медичної апаратури та біофізичних принципів респіраторної механіки.

Мета статті: розробка структури та змісту занять за темою «*Фізичні основи респіраторної механіки. Спірометрія, принципи роботи апарату штучної вентиляції легень, функціональна діагностика*» за спеціальностями 222 «Медицина», 228 «Педіатрія» в рамках курсів за вибором «Медична апаратура: фізичні та біофізичні принципи» та «Медична апаратура в педіатрії: фізичні та біофізичні принципи» кафедри медичної і біологічної фізики та інформатики, дослідити їх ефективність для формування системних знань про фізичні та біофізичні принципи роботи медичної апаратури, базові фізичні принципи дослідження живої природи, що є важливими складовими професійної компетентності майбутнього фахівця галузі охорони здоров'я.

Методи та матеріали досліджень:

–теоретичні: аналіз наукової, теоретико-методичної, психолого-педагогічної літератури з проблеми дослідження; навчальних планів та програм підготовки фахівців охорони здоров'я, провідних трендів сучасної медицини;

–емпіричні: опитування та анкетування фахівців галузі охорони здоров'я, викладачів та студентів щодо ролі та місця фізичних методів у сучасній медицині, бесіди зі студентами та викладачами з метою встановлення доступності та важливості кожної з тем курсу, узагальнення досвіду навчання вибіркових дисциплін, педагогічний експеримент;

–статистичні: опрацювання результатів соціологічних досліджень.

Виклад основного матеріалу. Визначаючи структуру та зміст вибіркової навчальної дисципліни «Медична апаратура: фізичні та біофізичні принципи» та її роль у формуванні професійної компетентності майбутніх лікарів, ми спиралися на результати наукового моніторингу, аналіз навчальних планів і програм, дані опитувань і анкетувань фахівців галузі охорони здоров'я, а також вимоги Закону України «Про вищу освіту», Стандартів вищої освіти галузі знань 22 «Охорона здоров'я» та освітньо-професійних програм другого рівня вищої освіти за спеціальностями 222 «Медицина» та 228 «Педіатрія».

Курс за вибором «Медична апаратура: фізичні та біофізичні принципи» спрямований на формування у студентів системи знань про фізичні та біофізичні принципи функціонування медичної апаратури, яка використовується в сучасній клінічній практиці з лікувальною та діагностичною метою. Він забезпечує опанування базових принципів сучасних методів дослідження процесів живої природи, які становлять основу предметних компетентностей з медичної та біологічної фізики. Ці знання є невід'ємною складовою професійної компетентності майбутніх фахівців галузі охорони здоров'я, а також базою для вивчення профільно орієнтованих природничих і клінічних дисциплін у вищих медичних навчальних закладах України.

Нами було розроблено структуру, створено навчальні програми та апробовано на практиці вибіркові навчальні дисципліни: «Медична апаратура: фізичні та біофізичні принципи» для спеціальності 222 Медицина; «Медична апаратура в педіатрії: фізичні та біофізичні принципи» для спеціальності 228 Педіатрія. Усі вищезазначені навчальні дисципліни передбачають проведення лекцій, які супроводжуються практичними та лабораторними заняттями, на них студенти мають змогу набути практичних навичок використання медичного обладнання для вимірювання параметрів та біофізичних характеристик біологічних систем, верифікації, оцінювання результатів вимірювань, а також їх інтерпретації.

Розроблена та апробована нами навчальна дисципліна «Медична апаратура: фізичні та біофізичні принципи» структурована наступним чином.

1. Біомеханіка опорно-рухового апарату. Фізичні основи денситометрії та тензометрії.

2. Фізичні основи респіраторної механіки. Спірометрія, принципи роботи апарату штучної вентиляції легень, функціональна діагностика.

3. Фізичні основи термографії, тонометрії.
4. Фізичні принципи роботи гематологічних аналізаторів.
5. Фізичні основи променевої діагностики та ядерної медицини.
6. Фізичні основи променевої терапії.
7. Фізичні основи фізіотерапії: механізми дії електричного, магнітного та електромагнітного полів на біологічні тканини. [2,6,9]

В кожному змістовому модулі розглядаємо поняттєво-категорійний апарат, основні фізичні закони [4,7,8], покладені в основу функціонування відповідного медичного обладнання, фізичні та біофізичні процеси, що відбуваються в організмі. Останніми роками особливої актуальності набуває вивчення змістового модуля «Фізичні основи респіраторної механіки Спірометрія, принципи роботи апарату штучної вентиляції легень, функціональна діагностика». Далі розглянуто побудову та основні поняття, що розглядаються у цьому модулі.

Легенева вентиляція.

При опануванні цієї теми слід спиратись на знання студентів з широкого кола засвоєних питань шкільного курсу фізики та навчальної дисципліни основного курсу «Медична та біологічна фізика», серед яких фундаментальні поняття математики, біомеханіки, молекулярної фізики, термодинаміки та гемодинаміки: градієнт, момент сили, пружні властивості біологічних тканин; рівняння стану ідеального газу, закони Бойля-Маріотта, Шарля, Гей-Люсака, тиск, додатковий тиск, закон Дальтона, рівняння Лапласа; пульсова хвиля; рівняння Пуазейля, гідравлічний опір, рівняння нерозривності струменя, число Рейнольдса, поверхневий натяг, в'язкість тощо. Надзвичайно важливим є розгляд умови виконання нерозривності струменя повітря при його руху по повітроносним шляхам та залежності між об'ємною та лінійною швидкостями повітряного потоку. Особливу увагу слід приділити характерним значенням параметрів дихальної системи людини: швидкості потоку, площі перерізу трахеї, середній радіус альвеоли та сумарної площі альвеолярних мішечків тощо.

Зовнішнє дихання.

Показники зовнішнього дихання та їх оцінка перш за все потребують детального аналізу та повного розуміння студентами поняття парціального тиску. Лише його засвоєння надає можливість вивчати поглинання та виділення кисню та вуглекислого газу, розуміння значення таких показників як дихальний коефіцієнт газообміну, коефіцієнт розчинності Бунзена, константа розчинності Крога та дифузійна здатність легень.

Показники легеневої вентиляції

Статичні (загальна ємність легень, залишковий об'єм, ємність вдиху, життєва та функціональна залишкова ємність) та динамічні (частота дихальних рухів, хвилинний об'єм дихання, максимальна вентиляція легень, резерв

дихання, коефіцієнти легеневої вентиляції та відношення альвеолярної вентиляції до легеневого кровотоку, альвеолярна вентиляція) показники легеневої вентиляції, незважаючи на їх інтуїтивно зрозумілий характер, потребують точного визначення, аналізу відповідних розмірностей та засвоєння характерних величин. Це зумовлено важливим діагностичним та клінічним значенням даних параметрів, а також наочно ілюструє роль фізичних та математичних дисциплін у підготовці майбутніх фахівців-медиків.

Основні методи функціональної діагностики дихання.

При розгляді основних методів функціональної діагностики дихання (спірометрія, пікфлоуметрія, пневмотахометрія, бодіплетизмографія, вимірювання розтяжимості легень, дослідження легеневої дифузії, ергоспірометрія) слід приділити увагу усім етапам підготовки пацієнтів та апаратури до відповідних процедур, підкреслити необхідність проведення повторних вимірювань (для визначення середніх значень показників та відкидання можливих хибних вимірювань). Студенти повинні не просто запам'ятати, а чітко засвоїти фізіологічний сенс та фізичні основи порядку проведення процедур вимірювання (наприклад, визначення життєвого об'єму легень у різних положеннях або після фізичного навантаження).

Інтерпретація кривої «потік - об'єм».

Спірограма записується в координатах «об'єм-час», тоді як при наявності реєстрації швидкості об'ємного потоку використовують координати «потік-об'єм». Крива «потік - об'єм» містить в основному ту ж інформацію, що і класична спірограма, але наочність співвідношення між потоком і об'ємом дозволяє медичному фахівцю більш глибоко проникнути в функціональні характеристики як верхніх, так і нижніх дихальних шляхів. Одночасно с графічним зображенням отримують цифрові значення показників (показники обстеження в порівнянні з нормою).

На прикладі даної кривої доцільно розповісти студентам про застосування фазових графіків та показати їх універсальність. При цьому корисними можуть бути найпростіші приклади: рівномірний та рівноприскорений рух, коливання маятника тощо. Такий підхід розширить уявлення майбутніх медиків про застосування математичних та фізичних методів.

Вкрай необхідним є ілюстрація змін кривої «потік - об'єм» при патологічних змінах дихання. Найвдалішими прикладами для цього є рестрикція (тип порушення легеневої вентиляції, зумовлений зменшенням дихальної поверхні легень або зменшенням здатності легеневої тканини до розтягнення) та обструкція (тип вентиляційної недостатності, що виникає внаслідок звуження дихальних шляхів та підвищення опору руху повітря). Кваліфікація лікаря і високий технічний рівень сучасної медичної апаратури є запорукою компетентної функціональної діагностики дихання.

Апарати штучної вентиляції легень (ШВЛ).

Призначення апаратів ШВЛ (забезпечення нормальної вентиляції легень та оксигенації крові), принцип їх роботи (штучне вдування у легені повітря або газових сумішей), конструкція (компресор, датчики, система управління) та способи підключення (інвазивний та неінвазивний) інтуїтивно зрозумілі, а засвоєння відповідного матеріалу не викликає труднощів. Проте вивчення режимів роботи апаратів ШВЛ зазвичай відбувається помітно складніше та потребує значних додаткових зусиль як від студентів, так і від викладача.

Режими роботи апаратів ШВЛ поділяють на допоміжну та контрольовану вентиляцію. При допоміжній вентиляції штучна інспірація відбувається з урахуванням самостійного (інстинктивного) дихання пацієнта. Контрольовану вентиляцію проводять за встановленими параметрами, дихальні спроби пацієнта при цьому не враховуються. Якщо в легені подають певний об'єм газової суміші, то таку вентиляцію називають контрольованою за об'ємом, а якщо апарат ШВЛ створює встановлений тиск в дихальних шляхах, то це контрольована за тиском вентиляція. При проведенні вентиляції обох типів апарат подає в легені газ певного об'єму та створює в них тиск, який залежить від об'єму та пружних властивостей легень. Комбінацію обох типів вентиляції забезпечують усі сучасні апарати ШВЛ. Обидва режими потребують частого контролю заданих показників.

Якісному засвоєнню цього матеріалу суттєво допомагає аналіз графіків залежності тиску, об'єму та потоку від часу при застосуванні різних режимів. Потребують детального розгляду наступні параметри респіраторної механіки ШВЛ: опір дихальних шляхів (вимірювання проводиться лише за умов примусової вентиляції); пружність та податливість (обернені величини, які характеризують тиск, необхідний для збільшення об'єму на одиницю та, відповідно, навпаки); постійна часу (одночасно відображає як пружні властивості дихальної системи, так і опір дихальних шляхів). І хоча сучасні апарати ШВЛ, оснащені датчиками тиску і потоку та системами управління, розраховують параметри автоматично, їх ефективно та безпечно для пацієнта застосування неможливе без глибоких знань не лише фізіології дихання, а й фізичних основ респіраторної механіки, методів функціональної діагностики, принципів та режимів роботи апаратів ШВЛ, а також діагностичного та терапевтичного значення статичних та динамічних показників легеневої вентиляції.

Висновки. Запропонована структура та зміст занять з респіраторної механіки сприяють кращому засвоєнню студентами фізичних основ процесу дихання за нормальних умов та при патологічних змінах, принципів та режимів роботи апаратів штучної вентиляції легень, а також розумінню діагностичного та клінічного значення параметрів легеневої вентиляції. Доцільність такої побудови занять у рамках змістового модуля «Фізичні основи респіраторної механіки. Спірометрія, принципи роботи апарату

штучної вентиляції легень, функціональна діагностика» у вибіркових дисциплінах «Медична апаратура: фізичні та біофізичні принципи» та «Медична апаратура в педіатрії: фізичні та біофізичні принципи» була апробована на кафедрі медичної і біологічної фізики та інформатики Національного медичного університету імені О.О. Богомольця та сприяє формуванню професійної компетентності майбутніх лікарів.

Література:

1. Про вищу освіту : Закон України від 2014р. №1556-VII. Дата оновлення: 17.11.2024 підстава № 4034-IX URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text> (дата звернення: 28.11.2022).
2. Робоча навчальна програма з навчальної дисципліни МБФ. Національний медичний університет імені О.О. Богомольця: затверджено на засіданні Циклової методичної комісії з природничих дисциплін НМУ імені О.О. Богомольця від 31.08.2022 №1 URL: <http://nmuofficial.com/zagalni-vidomosti/kafedri/department-medical-biological-physics/navchalno-metodychna-robota/> (дата звернення: 27.11.2024).
3. Ємчик Л.Ф. Основи біологічної фізики і медична апаратура: підручник / Л.Ф. Ємчик. - 2-е вид., виправл. — К.: ВСВ "Медицина", 2014. - 392 с.
4. Медична та біологічна фізика: нац. підручник / О.В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін. – Вінниця: Нова Книга, 2017. – 526 с.
5. Фізичні основи функціонування медичного обладнання: навч. посіб. / В. Д. Дідух, Ю. А. Рудяк, О. А. Багрій-Заяць та ін. – ТНМУ, 2020– 340 с.
6. Конструювання змісту та структури вибіркової навчальної дисципліни «Медична апаратура: фізичні та біофізичні принципи» / О.В. Чалий, Н.В. Стучинська, В.В. Пашенко, В.М. Руднева, А.І. Єгоренков, Ю.М. Литвин *Ukrainian scientific medical youth journal, Supplement № 2 (130) 2022*, с. 62-64.
7. Збірник тестових завдань з медичної і біологічної фізики: навч. посібник / Н.В. Стучинська, О.В. Чалий, О.К. Чалий, В.М. Руднева та ін. – Київ: Книга плюс, 2024. – 132 с.
8. Практикум з медичної та біологічної фізики для студентів медичних університетів: навчальний посібник / Н.В. Стучинська, О.В. Чалий, О.К. Чалий та ін. – К.: Книга плюс, 2024. – 120 с.
9. Elective Course "Medical Equipment: Physical and Biophysical Principles"/ Alexander Chalyi, Victoria Pashchenko, Kyrylo Chalyu, Natalia Stuchinska, Anatoly Egorenkov, Victoria Rudnieva et al. // *EC Clinical and Medical Case Reports Journal 5.9 (2022, London): 67-72.*

References:

1. Zakon Ukrainy «Pro vyshchu osvitu» : pryiniaty 2014 roku №1556-VII. Data onovlennia : 17.11.2024 pidstava №4034-IX [Law of Ukraine «About higher education» from 2014 №1556-VII. Date of update : current edition 17.11.2024, №4034-IX] (17.11.2024). [zakon.rada.gov.ua](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text> [in Ukrainian].
2. Robocha navchalna prohrama z navchalnoi dystsypliny MBF. Natsionalnyi medychnyi universytet imeni O.O. Bohomoltsia : zatverdzheno na zasidanni Tsyklovoi metodychnoi komisii z pryrodnychikh dystsyplin NMU imeni O.O. Bohomoltsia vid 31.08.2022 №1 [Working curriculum in the educational discipline of the MBF. Bogomolets National Medical University: approved at the meeting of the Cyclic Methodical Commission for Natural Sciences of the Bogomolets National Medical University from 31.08.2022 №1] (2022-2023). <https://nmuofficial.com>. Retrieved from <https://nmuofficial.com/zagalni-vidomosti/kafedri/department-medical-biological-physics/navchalno-metodychna-robota> [in Ukrainian].

3. Yemchyk L.F. Osnovy biolohichnoyi fizyky i medychna aparatura: pidruchnyk [Fundamentals of biological physics and medical equipment: handheld] / L.F. Yemchyk. – 2-e vyd., vypravl. — K.: VSV "Medytsyna", 2014. - 392 s. [in Ukrainian].

4. Medychna ta biolohichna fizyka: nats. pidruchnyk [Medical and biological physics: national textbook] / O.V. Chalyy, YA.V. Tsekhmister, B.T. Ahapov ta in.– Vinnytsya: Nova Knyha, 2017. – 526 s. [in Ukrainian].

5. Fizychni osnovy funktsionuvannya medychnoho obladnannya: navch. posib. [Physical foundations of the functioning of medical equipment: a textbook.] / V. D. Didukh, YU. A. Rudyak, O. A. Bahriy-Zayats' ta in. – TNMU, 2020 – 340 s. [in Ukrainian].

6. Konstruyuvannya zmistu ta struktury vybirkovoyi navchal'noyi dystsypliny «Medychna aparatura: fizychni ta biofizychni pryntsypy» [Designing the content and structure of the elective academic discipline “Medical equipment: physical and biophysical principles”] / O.V. Chalyy, N.V. Stuchyns'ka, V.V. Pashchenko, V.M. Rudnieva, A.I. Yehorenkov, YU.M. Lytvyn Ukrainian scientific medical youth journal, Supplement № 2 (130) 2022, s. 62-64. [in Ukrainian].

7. Zbirnyk testovykh zavdan' z medychnoyi i biolohichnoyi fizyky: navch. Posibnyk [Collection of test tasks in medical and biological physics: a textbook] / N.V. Stuchyns'ka, O.V. Chalyy, O.K. Chalyy, V.M. Rudnyeva ta in. – Kyiv: Knyha plyus, 2024. – 132 s. [in Ukrainian].

8. Praktykum z medychnoyi ta biolohichnoyi fizyky dlya studentiv medychnykh universytetiv: navchal'nyy posibnyk [Practical course in medical and biological physics for students of medical universities: a textbook] / N.V. Stuchyns'ka, O.V. Chalyy, O.K. Chalyy ta in. – K.: Knyha plyus, 2024. – 120 s. [in Ukrainian].

9. Elective Course "Medical Equipment: Physical and Biophysical Principles"/ Alexander Chalyy, Victoria Pashchenko, Kyrylo Chalyy, Natalia Stuchinska, Anatoly Egorenkov, Victoria Rudnieva et al. // *EC Clinical and Medical Case Reports Journal* 5.9 (2022, London): 67-72.