
ПРИРОДНИЧІ, МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ ТА ОСВІТА В МЕДИЦИНІ



NATURAL & MATHEMATICAL SCIENCES IN MEDICINE AND MEDICAL EDUCATION

2026
N°1(4)



3083-5887 online

ISSN:3083-5887 online

УДК : 5+51+37.01]:61

DOI: 10.24061/3083-5887.j.nmsmme



Природничі, математичні науки та освіта в медицині

1(4)2026

Утворений у квітні 2024 р.

ЗАСНОВНИК ЖУРНАЛУ: Буковинський державний медичний університет
(м.Чернівці, Україна) (наказ ректора БДМУ 141-Адм від 02.04.2024р.)

Періодичність видання: 2 номери на рік

Метою журналу є висвітлення міждисциплінарної важливості нових теоретичних і прикладних досягнень природничих та математичних наук, а також проблем, що постають на шляху використання цих досягнень задля розвитку медицини та стимулювання взаємодії між науковцями. Журнал розрахований на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, що працюють для медицини і в медицині.

Рекомендовано до опублікування в мережі Інтернет Вченою радою Буковинського державного медичного університету Протокол №10 від 28 травня 2026 року.

Natural & Mathematical Sciences in Medicine and Medical Education

1(4)2026

was founded in April 2024

by **Bukovinian State Medical University** (Chernivtsi, Ukraine)

and issued 2 times per year

The journal highlights interdisciplinary significance of new theoretical and applied research findings of natural and mathematical sciences, as well as problems that arise in the way of using these research findings for the development of medicine to the wider community. The journal is intended for scientists, teachers, graduate students, students working for medicine and in medicine.

Recommended for publication on the Internet by the Academic Council of the Bukovinian State Medical University Protocol #10 dated by 28 May 2026



3083-5887 online



Редакційний штат

Головний редактор

Федів Володимир Іванович -
д.фіз.-мат.н., проф., (Чернівці, Україна)

Заступник головного редактора

Іванчук Марія Анатоліївна -
к.фіз.-мат.н., доц., (Чернівці, Україна)

Відповідальний секретар

Олар Олена Іванівна -
к.фіз.-мат.н., доц., (Чернівці, Україна)

Відповідальний редактор

Кульчинський Віктор Васильович -
к.фіз.-мат.н., доц. (Чернівці, Україна)

Редакційна колегія

A Освіта

A1 Освітні науки

Зорій Ярослав Богданович,
д.пед.н., проф., (Чернівці, Україна)

Мосейчук Юрій Юрійович,
д.пед.н., проф., (Чернівці, Україна)

Остапович Наталія Володимирівна,
к.пед.н., доц., (Івано-Франківськ, Україна)

Пайкуш Маріанна Андріївна,
д.пед.н., доц., (Львів, Україна)

Стучинська Наталія Василівна,
к.ф.-м. н, д.пед. (Київ, Україна)

Тимчук Людмила Іванівна,
д.пед. наук, проф., (Чернівці, Україна)

Шарлович Зоя,
к.пед. наук, (Ломжа, Республіка Польща)

*E Природничі науки, математика та
статистика*

E3 Хімія

Демченко Валерій Леонідович,
д.хім.н., к.фіз.-мат.н., (Київ, Україна)

Капуш Ольга Анатоліївна,
к.хім.н., ст.наук.сп., (Київ, Україна)

Editorial Team

Editor in Chief

Fediv Volodymyr -
Dr. Sci.(Phys. & Math.), Chernivtsi, Ukraine

Associate editor-in-chief

Ivanchuk Maria -
PhD (Phys. & Math.), Chernivtsi, Ukraine

Editorial administrator

Olar Olena -
PhD (Phys. & Math.), Chernivtsi, Ukraine

Managing Editor

Kulchyunskyi Viktor -
PhD (Phys. & Math.), Chernivtsi, Ukraine

Associate Editors

Education

Educational Sciences

Zoriy Yaroslav,
PhD (Pedagogics), Chernivtsi, Ukraine

Moseichuk Yurii,
Dr. Sci. (Pedagogics), Chernivtsi, Ukraine

Ostapovych Natalia,
PhD (Pedagogics), Ivano-Frankivsk, Ukraine

Paykush Marianna,
Dr. Sci. (Pedagogics), Lviv, Ukraine

Stuchynska Nataliia,
Dr. Sci. (Pedagogics), Kyiv, Ukraine,

Tymchuk Liudmyla,
Dr. Sci. (Pedagogics), Chernivtsi, Ukraine

Sharlovych Zoia,
PhD (Pedagogics), Łomża, Poland

*Natural Sciences, Mathematics and
Statistics*

Chemistry

Demchenko Valerii,
D.Sc. (Chemistry), Kyiv, Ukraine

Kapush Olga,
PhD (Chemistry), Kyiv, Ukraine



Халавка Юрій Богданович,
д.хім.н., доц., (Чернівці, Україна)

Чорноус Віталій Олександрович,
д.хім.н., проф., (Чернівці, Україна)

Е6 Прикладна фізика та наноматеріали

Дуболазов Олександр Володимирович,
д.фіз.-мат.н., проф., (Чернівці, Україна)

Кобиланський Роман Романович,
к.фіз.-мат.н., (Чернівці, Україна)

Солован Михайло Миколайович,
д.фіз.-мат.н., доц., (Познань, Польща)

Суходуб Леонід Федорович, д.фіз.-мат.н.,
проф., член-кор.НАНУ, (Суми, Україна)

Трусова Валерія Михайлівна, д.фіз.-мат.н.,
доц., член-кор.НАНУ, (Харків, Україна)

Фойтік Антон,
д.інж., проф., (Прага, Чехія)

Khalavka Yuriy,
Dr. Sci. (Chemistry), Chernivtsi, Ukraine

Chornous Vitalij,
Dr. Sci. (Chemistry), Chernivtsi, Ukraine

Applied Physics and Nanomaterials

Dubolazov Alexander,
Dr. Sci. (Phys. & Math.), Chernivtsi, Ukraine

Kobylianskyi Roman,
PhD (Phys. & Math.), Chernivtsi, Ukraine

Solovan Mykhailo,
Dr. Sci. (Phys. & Math.), Poznan, Poland, EU

Sukhodub Leonid,
Dr. Sci. (Phys. & Math.), Sumy, Ukraine

Trusova Valeriya,
Dr. Sci. (Phys. & Math.), Kharkiv, Ukraine

Fojtik Anton,
DEng, CSc, Prague, Czech Republic, EU

Е7 Математика

Антонюк Світлана Володимирівна,
к.фіз.-мат.н., доц., (Чернівці, Україна)

Лукашів Тарас Олегович,
к.фіз.-мат.н., доц., (Чернівці, Україна)

Маланчук Оксана Михайлівна,
д.тех.н., доц., (Львів, Україна)

Малик Ігор Володимирович,
д.фіз.-мат.н., доц., (Чернівці, Україна)

Самойленко Ігор Валерійович,
д.фіз.-мат.н., проф., (Київ, Україна)

Mathematics

Antonyuk Svitlana,
PhD (Phys. & Math.), Chernivtsi, Ukraine

Lukashiv Taras,
PhD (Phys. & Math.), Chernivtsi, Ukraine

Malanchuk Oksana,
Dr. Sci. (Engin.), Lviv, Ukraine

Malyk Igor,
Dr. Sci. (Phys. & Math.), Chernivtsi, Ukraine

Samoilenko Igor,
Dr. Sci. (Phys. & Math.), Kyiv, Ukraine

*І Охорона здоров'я та
соціальне забезпечення*

І2 Медицина

Безрук Володимир Володимирович,
д.мед.н., проф., (Чернівці, Україна)

Булик Роман Євгенович,
д.мед.н., проф., (Чернівці, Україна)

Вакуленко Людмила Іванівна,
д.мед.н., проф. (Дніпро, Україна)

Василюк Сергій Михайлович,
д.мед.н., проф., (Івано-Франківськ, Україна)

*Health and Social Security
Medicine*

Bezruk Volodymyr,
Dr. Sci. (Medicine), Chernivtsi, Ukraine

Bulyk Roman,
Dr. Sci. (Medicine), Chernivtsi, Ukraine

Vakulenko Liudmyla,
Dr. Sci. (Medicine), Dnipro, Ukraine

Vasyliuk Serhii,
Dr. Sci. (Medicine), Ivano-Frankivsk, Ukraine

ISSN: 3083-5887 online

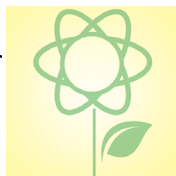
UDC : 5+51+37.01]:61

DOI: 10.24061/3083-5887.j.nmsmme

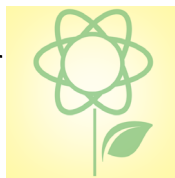


Гринчук Федір Васильович,
д.мед.н., проф., (Чернівці, Україна)
Іванчук Павло Романович,
к.мед.н., доц., (Чернівці, Україна)
Кендзерська Тетяна, PhD (Medicine),
Assistent Professor, (Оттава, Канада)
Плеш Ігор Антонович,
д.мед.н., проф., (Чернівці, Україна)
Полянський Ігор Юлійович,
д.мед.н., проф., (Чернівці, Україна)
Токар Петро Юрійович,
доктор філософії, (Чернівці, Україна)
Федів Олександр Іванович,
д.мед.н., (Чернівці, Україна)
Хемедан Ахмед, PhD, Postdoctoral researcher
in Luxembourg University, (Люксембург)

Grynchuk Fedir,
Dr. Sci. (Medicine), Chernivtsi, Ukraine
Ivanchuk Pavlo,
PhD (Medicine), Chernivtsi, Ukraine
Kendzerska Tetyana, PhD (Medicine),
Assistent Professor, Ottawa, Canada
Plesh Igor,
Dr. Sci. (Medicine), Chernivtsi, Ukraine
Polianskiy Ihor,
Dr. Sci. (Medicine), Chernivtsi, Ukraine
Tokar Petro,
PhD (Medicine), Chernivtsi, Ukraine
Fediv Oleksandr,
Dr. Sci. (Medicine), Chernivtsi, Ukraine
Hemedan Ahmed, PhD, Postdoctoral researcher
in Luxembourg University, Luxembourg



Зміст	Contents
Природничі науки в медицині	Natural sciences in medicine
<u>Діагностика та лікування запально-деструктивних процесів у хірургії із застосуванням термоелектричних пристроїв</u> Полянський І., Кобилянський Р., Лисько В., Гаврилюк М., Бойчук В., Андрієць В., Мороз П., Полянська О., Мельник І., Шкорбецька Ю. 8	<u>Diagnosis and treatment of inflammatory-destructive processes in surgery using thermoelectric devices</u> Polianskyi I., Kobylanskyi R., Lysko V., Havrylyuk M., Boichuk V., Andriets V., Moroz P., Polianska O., Mel'nyk I., Shkro-betska Yu. 8
<u>Сучасні погляди на використання УФ-опромінення для збереження продуктів харчування (огляд літератури)</u> Міхєєв А. 16	<u>Modern views on the use of UV radiation for food preservation (literature review)</u> Mikheev A. 16
<u>Сцинтиграфія як метод функціональної діагностики в сучасній медицині</u> Баланюк І., Бойку А.-Л., Нікульча А., Яворська В. 31	<u>Scintigraphy as a method of functional diagnostics in modern medicine</u> Balaniuk I., Boiku A., Nikulcha A., Yavorska V. 31
<u>Фізичні основи ефективності компресійної терапії при синдромі Кліппеля-Треноне</u> Федів В., Домбровський Д., Іванчук М., Олар О. 43	<u>Physical Basis for the Efficacy of Compression Therapy in Klippel-Trenaunay Syndrome</u> Fediv V., Dombrovskyi D., Ivanchuk M., Olar O. 43
Математичні науки в медицині	Mathematical sciences in medicine
<u>Математичне моделювання як інструмент формування професійної компетентності майбутніх магістрів біотехнології: дослідження роботи біореактора періодичної дії</u> Стучинська Н., Андрійчук М. 54	<u>Mathematical Modeling as a Tool for Developing the Professional Competence of Biotechnology Master's Students: A Case Study of a Batch Bioreactor</u> Stuchynska N., Andriichuk M. 54
<u>Критерій Хі-квадрат Пірсона як інструмент доказової медицини у клінічній практиці та підготовці фахівців у закладах вищої освіти</u> Чорненко Ж. 63	<u>Pearson's Chi-squared test as a tool of evidence-based medicine in clinical practice and medical education</u> Chornenka Zh. 63



Зміст

Contents

Природничі та математичні дисципліни в медичній освіті	Natural and mathematical disciplines in medical education
<u>Переваги та труднощі впровадження варіантів сценаріїв віртуальних пацієнтів очима студентів-іноземців (результати анонімного опитування)</u> Гарас М. 71	<u>Advantages and difficulties of virtual patient scenarios implementation in the eyes of international students (results of anonymous survey)</u> Haras M. 71
<u>Концептуалізація природничо-наукових знань у процесі формування клінічного мислення під час вивчення внутрішньої медицини</u> Рева Т., Стус Р. 82	<u>Conceptualization of natural science knowledge in the process of developing clinical thinking during the study of internal medicine</u> Reva T., Stus R. 82
<u>Керівництво для авторів</u> 92	<u>Author Guidelines</u> 92

©2026

Ігор Полянський, Роман Кобилянський,
Валентин Лисько, Микола Гаврилюк,
Вадим Бойчук, Володимир Андрієць,
Петро Мороз, Оксана Полянська,
Іван Мельник, Юлія Шкорбецька




Надійшла до редакції 10 січня 2026р.
Прийнята до друку 26 травня 2026р.
Опубліковано на сайті 17 червня 2026р.

УДК 617-089:616-073.65:621.36


DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.1](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.1)

Діагностика та лікування запально-деструктивних процесів у хірургії із застосуванням термоелектричних пристроїв


Ігор Полянський¹

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


Роман Кобилянський²

 [0000-0002-4664-3162](https://orcid.org/0000-0002-4664-3162) @: romakobylianskyi@ukr.net


Валентин Лисько²

 [0000-0001-7994-6795](https://orcid.org/0000-0001-7994-6795) @: v.lysko@chnu.edu.ua


Микола Гаврилюк²

 [0000-0003-3207-2917](https://orcid.org/0000-0003-3207-2917) @: m.havryk.ite@gmail.com


Вадим Бойчук²

 [0009-0006-7852-3452](https://orcid.org/0009-0006-7852-3452) @: boichuk.vadym.vi@chnu.edu.ua


Володимир Андрієць¹

 [0000-0001-9448-7945](https://orcid.org/0000-0001-9448-7945) @: volodia.andriets@bsmu.edu.ua


Петро Мороз¹

 [0000-0002-7131-8863](https://orcid.org/0000-0002-7131-8863) @: petro.moroz@bsmu.edu.ua


Оксана Полянська¹

 [0000-0002-3889-7568](https://orcid.org/0000-0002-3889-7568) @: polianska.oksana@bsmu.edu.ua

Іван Мельник¹

 [0009-0009-5895-1275](https://orcid.org/0009-0009-5895-1275) @: melnykivan88@gmail.com

Юлія Шкорбецька¹

 [0009-0008-3133-8481](https://orcid.org/0009-0008-3133-8481) @: shkorbetska.yulana@gmail.com

¹Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна

²Інститут термоелектрики НАН України та МОН України, Чернівці, Україна

Цитувати як:

Полянський І., Кобилянський Р., Лисько В., Гаврилюк М., та ін.. Діагностика та лікування запально-деструктивних процесів у хірургії із застосуванням термоелектричних пристроїв. *Природничі, математичні науки та освіта в медицині* 1(4) 2026 8-15.

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.1](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.1)



Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

Ключові слова:


термоелектричний сенсор,
термоелектричний датчик
температури,
температурний градієнт,
медична діагностика у
хірургії,
запально-деструктивні
процеси,
термометричний моніторинг,
об'єктивізація параметрів,
термонавігація,
пункційна діагностика,
малоінвазивне лікування,
лікувально-діагностичний процес.

Анотація


У роботі показані можливості використання принципів термоелектрики в діагностиці, лікуванні та профілактики ускладнень в ургентній абдомінальній та торакальній хірургії. Узагальнено результати використання розробленого комплексного діагностично-лікувального алгоритму із застосуванням термоелектричних пристроїв при запально-деструктивних процесах. Доведено, що застосування таких пристроїв дозволяє виявити прогресування запалення на ранніх його етапах і використовувати превентивну тактику лікування. Реєстрація за допомогою термоелектричних пристроїв асиметрії параметрів теплового потоку у симетричних ділянках грудної клітки створила можливість діагностувати запальний процес у легенях на початкових його стадіях. У діагностиці абсцесів різної локалізації високоінформативним зарекомендувало себе визначення температурної асиметрії у симетричних ділянках тулуба, що дозволило виявити прояви абсцедування на початкових етапах розвитку. Розроблені інноваційні пристрої для пункції та дренивання з розміщенням термодатчиків на робочій частині інструментів дозволяють використовувати принцип термонавігації при проведенні інструменту у порожнину гнійника, зменшуючи небезпеку виникнення різних ускладнень. Зроблено висновки, що використання термоелектричних принципів дозволяє значно покращити діагностику багатьох гострих хірургічних захворювань, поточнити їхню діагностику, підвищити ефективність лікування.

Diagnosis and treatment of inflammatory-destructive processes in surgery using thermoelectric devices


Ihor Polyanskiy¹

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

Roman Kobylanskiy²

 [ID: 0000-0002-4664-3162](https://orcid.org/0000-0002-4664-3162) @: romakobylanskiy@ukr.net


Valentyn Lysko²

 [ID: 0000-0001-7994-6795](https://orcid.org/0000-0001-7994-6795) @: v.lysko@chnu.edu.ua


Mykola Havryliuk²

 [ID: 0000-0003-3207-2917](https://orcid.org/0000-0003-3207-2917) @: m.havryk.ite@gmail.com


Vadym Boichuk²

 [ID: 0009-0006-7852-3452](https://orcid.org/0009-0006-7852-3452) @: boichuk.vadym.vi@chnu.edu.ua


Volodymyr Andriets¹

 [ID: 0000-0001-9448-7945](https://orcid.org/0000-0001-9448-7945) @: volodia.andriets@bsmu.edu.ua


Petro Moroz¹

 [ID: 0000-0002-7131-8863](https://orcid.org/0000-0002-7131-8863) @: petro.moroz@bsmu.edu.ua


Oksana Polyanska¹

 [ID: 0000-0002-3889-7568](https://orcid.org/0000-0002-3889-7568) @: polianska.oksana@bsmu.edu.ua

Ivan Melnyk¹

 [ID: 0009-0009-5895-1275](https://orcid.org/0009-0009-5895-1275) @: melnykivan88@gmail.com

Yuliia Shkorbetska¹

 [ID: 0009-0008-3133-8481](https://orcid.org/0009-0008-3133-8481) @: shkorbetska.yulana@gmail.com

¹Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

²Institute of Thermoelectricity, Chernivtsi, Ukraine

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

Keywords:

*thermoelectric sensor,
thermoelectric temperature
sensor, temperature gradient,
medical diagnostics in surgery,
inflammatory-destructive pro-
cesses,
thermometric monitoring,
objectification of parameters,
thermal navigation,
puncture diagnostics,
minimally invasive treatment,
medical and diagnostic process.*

Abstract

This paper demonstrates the potential of applying thermoelectric principles in the diagnosis, treatment, and prevention of complications in emergency abdominal and thoracic surgery. The study summarizes the results of implementing a comprehensive diagnostic and therapeutic algorithm using thermoelectric devices for inflammatory and destructive processes.

It is proven that the application of such devices allows the detection of inflammatory progression at its early stages and enables a preventive treatment strategy.

The registration of heat flow parameter asymmetry in symmetrical areas of the chest using thermal devices provided the opportunity to diagnose inflammatory processes in the lungs at their initial stages. In the diagnosis of abscesses of various localizations, determining temperature asymmetry in symmetrical areas of the torso proved to be highly informative, allowing for the detection of abscess formation at the onset of development.

Innovative devices developed for puncture and drainage, featuring thermal sensors integrated into the working part of the instruments, allow for the use of thermal navigation principles when guiding the instrument into the abscess cavity, thereby reducing the risk of various complications.

It is concluded that the use of thermoelectric principles significantly improves the diagnosis of many acute surgical diseases, refines their clinical assessment, and increases treatment efficacy.

Зміст

Вступ	10
Матеріали та методи	11
Результати досліджень та їх обговорення	12
Висновки	13
Список використаних джерел	14

Перелік скорочень:

ЗДП - запально-деструктивні процеси

ТЕП - термоелектричні пристрої

КТ - комп'ютерна томографія

МРТ - магнітно-резонансна томографія

ШЗЕ - швидкість зсідання еритроцитів

Вступ

Проблема діагностики та лікування ЗДП залишається однією з найбільш актуальних та складних у сучасній хірургії. До цієї групи патологій належать абсцеси, флегмони, некротизуючі фасціїти та інші гнійно-запальні ураження м'яких тканин і органів, які характеризуються стрімким прогресуванням, значною інтоксикацією та високим ризиком розвитку загрозливих для життя ускладнень, таких як сепсис та поліорганна недостатність [1, 2].

Незважаючи на вдосконалення хірургічних методів лікування та антибактеріальної терапії летальність при поширених формах ЗДП сягає 15–40%, що вимагає постійного пошуку нових, більш ефективних та менш інвазивних підходів до їхньої діагностики та лікування [3]. Традиційні методи лікування ЗДП включають забезпечення адекватного дренирування гнійного вогнища, радикальне хірургічне видалення некротичних

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

тканин та системну протизапальну й антибактеріальну терапію [4,5]. Однак, ці підходи часто пов'язані з травматичністю, високою ймовірністю виникнення ускладнень, тривалою госпіталізацією.

Тому важливим завданням сучасної хірургії є розробка інформативних методів діагностики та цілеспрямованих засобів впливу на патологічний осередок, які б забезпечували ефективну санацію, мінімізуючи при цьому пошкодження здорових тканин [6].

Термоелектричні принципи, що базуються на фізичному процесі перетворення теплової енергії в електричний струм, можуть скласти фундаментальну основу для розробки новітніх діагностично-лікувальних приладів у хірургічній практиці [7].

ТЕП, що базуються на ефекті Пельтьє (для охолодження) або ефекті Зеебека (для нагрівання/діагностики), пропону-

ють унікальну можливість прецизійного та контрольованого локального впливу на патологічний осередок [8]. Термодіагностика за допомогою ТЕП може забезпечити чутливе виявлення локальних змін температури, які є однією з ранніх ознак запального процесу, а термотерапія дозволяє використовувати цільове охолодження або нагрівання для стримування запалення, зменшення набряку або, навпаки, для девіталізації патогенної флори та стимуляції репаративних процесів [9,10].

Таким чином, розробка та наукове обґрунтування методології застосування термоелектричних пристроїв для комплексної діагностики та лікування запально-деструктивних процесів у хірургії є своєчасним і має високе практичне значення для підвищення ефективності лікування та зменшення інвазивності хірургічних втручань.

Мета роботи – оцінити можливість і ефективність використання розроблених термоелектричних пристроїв для покращення діагностики та підвищення ефективності лікування запально-деструктивних процесів у хірургічних пацієнтів.

Завдання дослідження:

1. Оцінити можливість термоелектричної діагностики локалізації вогнища запально-деструктивного процесу та оцінки поширеності процесу.
2. Провести оцінку клінічної ефективності застосування термоелектричних приладів для діагностики та лікування запально-деструктивних процесів, профілактики ускладнень.
3. Розробити та впровадити в клінічну практику алгоритми застосування термоелектричних пристроїв у для діагностики та комплексного лікування запально-деструктивних процесів.

Об'єкт дослідження - запально-деструктивні процеси в хірургічній патології.

Предмет дослідження - вплив і ефективність застосування термоелектричних пристроїв у діагностиці та лікуванні запально-деструктивних процесів у хірургічній патології

Матеріали та методи

1. Дизайн дослідження

Дослідну групу склали 91 пацієнт із запально-деструктивними процесами, в яких у процесі діагностики та лікування використані термоелектричні пристрої.

Контрольну групу склали 32 пацієнти із подібною патологією, у яких діагностика та лікування запально-деструктивних процесів проводилась стандартними методами.

2. Методи дослідження:

Загальноклінічні: збір анамнезу, оцінка симптомів, візуальна оцінка рани. Загальна оцінка стану пацієнтів, визначення тяжкості.

Клінічні та інструментальні: рентгенологічне, ультразвукове дослідження, КТ, МРТ. Термоелектрична діагностика - реєстрація асиметрії параметрів теплового потоку у симетричних ділянках за допомогою високочутливих ТЕП.

Лабораторні: загально-клінічні аналізи крові (визначення лейкоцитозу, ШЗЕ). Біохімічні маркери запалення (рівні С-реактивного білка, прокальцитоніну).

Статистичні: статистичний аналіз: (t-критерій Стьюдента, непараметричні методи, кореляційний аналіз).

Результати досліджень та їх обговорення

Нами розроблено та впроваджено у практику ряд пристроїв [11-14], які дають можливість реєструвати звукові феномени та теплові потоки на поверхні тіла пацієнтів, а також зміни теплового потоку в глибині тканин. Дані прилади демонструють високу діагностичну інформативність при верифікації запально-деструктивних процесів у різних органах і біологічних тканинах, забезпечуючи об'єктивну детекцію запального процесу шляхом реєстрації змін локальної температури, а також створюють можливість виконання прецизійних операційних утручань при лікуванні відмежованих гнійників.

Так, при вимірюванні температурного градієнту між ділянкою рани та віддаленою зоною встановлено, що відмінність не менше ніж на $0,75^{\circ}\text{C}$ дозволяє діагностувати розвиток ранових ускладнень на ранніх етапах їх виникнення ($p < 0,05$) та своєчасно застосувати ефективні методи лікування. Лабораторні параметри запального процесу (кількість лейкоцитів у крові, ШЗЕ, рівень прокальцитоніну та С-реактивного протеїну) у цей період змінювались статистично невірогідно, $p \geq 0,1$).

Термоелектричні сенсори, інтегровані у структуру багатошарової пов'язки, функціонують в автоматизованому режимі, генеруючи акустичні та візуальні сигнали при детекції температурних змін у рані біле ніж на $0,3^{\circ}\text{C}$, які свідчать про

прогресування запально-деструктивних процесів у рані. Використання пристроїв у 42 пацієнтів дали можливість на ранніх етапах виявити пролонгацію процесу і застосувати адекватну лікувальну тактику, направлену на попередження ускладнень. У контрольній групі лабораторні та інструментальні методи обстеження були інформативними пізніше на 3-5 діб. Застосування термоелектричних приладів дозволило значно покращити результати лікування, уникнути інвалідизуючих операцій, скоротити терміни стаціонарного лікування на $7,5 \pm 1,34$ діб ($p < 0,05$) порівняно з контрольною групою, покращити якість життя пацієнтів після лікування, уникнувши розвитку келоїдних змін рани.

Реєстрація асиметрії параметрів теплового потоку та звукових феноменів у симетричних ділянках грудної клітки більше ніж на $0,85^{\circ}\text{C}$ дозволила у 12 пацієнтів запідозрити запальний процес у легенях на ранніх стадіях, своєчасно провести корекцію лікування шляхом призначення інтенсивної протизапальної терапії. Підтвердження діагнозу результатами рентгенологічного та ультразвукового обстеження було можливим на 2-3 доби пізніше.

Моніторинг динаміки температурних показників у вигляді зниження величини асиметрії параметрів теплового потоку слугував об'єктивним критерієм ефективності проведених те-

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

рапевтичних заходів, що підтверджено результатами лабораторних та інструментальних методів обстеження.

У діагностиці абсцесів різної локалізації високоінформативним є визначення температурної асиметрії у симетричних ділянках тулуба. Найбільш виражена асиметрія параметрів теплового потоку спостерігається при діагностиці підшкірних абсцесів і флегмон ($0,65-0,85^{\circ}\text{C}$; $p < 0,05$). Використання ТЕП дозволило виявити їх прояви на початкових етапах розвитку, інтенсифікувати протизапальну та антимікробну терапію, скоротити терміни стаціонарного лікування на $6,8 \pm 1,24$ днів ($p < 0,05$) порівняно з контрольною групою.

Для пункції та дренивання таких абсцесів розроблено інноваційний пристрій у формі пункційної голки з інтегрованим у мандрені термоелектричним датчиком температури. Даний пристрій функціонує як прецизійний навігатор, забезпечуючи оптимальну траєкторію голки у напрямку зони максимальної температури, що відповідає локалізації сформованого абсцесу. При цьому суттєво знижується ризик виникнення ускладнень,

асоційованих з хаотичними траєкторіями проведення голки при традиційному методі пошуку гнійного вогнища і можливого пошкодженні прилеглих кровеносних судин і периферійних нервів.

Використання пристрою у 12 пацієнтів дало можливість провести адекватне прецизійне операційне втручання - пункційну санацію гнійника, уникнувши широких розрізів тканин, що на $4,2 \pm 0,93$ днів скоротило терміни одужання пацієнтів ($p < 0,05$).

Інтеграція термодатчика у стилет троакара забезпечує прецизійне проведення інструмента до порожнини абсцесу, мінімізуючи ризик травматизації прилеглих анатомічних структур.

Ускладнень, пов'язаних із використанням цих ТЕП не спостерігалось.

Таким чином, комплексний діагностично-лікувальний алгоритм із застосуванням термоелектричних пристроїв дозволяє суттєво покращити діагностику запально-деструктивних процесів, особливо на ранніх стадіях їх розвитку, оптимізувати методи лікування та профілактики ускладнень.

Висновки

1. Імплементация термоелектричних принципів демонструє значний потенціал у розробці діагностично-лікувального інструментарію для верифікації та лікування запально-деструктивних процесів.

2. Використання ТЕП дає змогу суттєво покращити діагностику запально-деструктивних процесів вже на ранніх етапах виникнення, забезпечити їх об'єктивізацію через цифрові параметри, проводити моніторинг ефективності лікування.

3. ТЕП дозволяють покращити результати лікування пацієнтів шляхом безпечнішого використання малоінвазивних технологій, зменшити кількість інвалідизуючих операцій, скоротити терміни лікування, покращити якість життя пацієнтів після лікування.

Перспективи подальших досліджень

Перспективними є дослідження з використання термоелектричних пристроїв при інших гострих хірургічних захворюваннях в ургентній абдомінальній та торакальній хірургії, а також розробка і впровадження нових діагностично-лікувальних пристроїв на основі принципів термоелектрики.

Конфлікт інтересів

Автори декларують відсутність фінансових або інших конфліктів інтересів, які могли вплинути на результати, інтерпретацію та висновки дослідження.

Список використаних джерел

1. Costantino M, Piazza O, Coscioni E, Vozzella EA, Longanella W, Caro FD. Analyzing Pre-operative Hospital Stay and Incidence of Hospital Acquired Infection: A Retrospective Study. *Transl Med UniSa*. 2024 [дата звернення 6 берез. 2026];26(1). <https://doi.org/10.37825/2239-9747.1051>.
2. Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, Shankar-Hari M, Annane D, Bauer M, Bellomo R, Bernard GR, Chiche JD, Coopersmith CM та ін. The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). *JAMA*. 2016 [дата звернення 6 берез. 2026];315(8):801. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.0287>.
3. Dennis L. Stevens, Alan L. Bisno, Henry F. Chambers, E. Patchen Dellinger, Ellie J. C. Goldstein, Sherwood L. Gorbach, Jan V. Hirschmann, Sheldon L. Kaplan, Jose G. Montoya, James C. Wade, Practice Guidelines for the Diagnosis and Management of Skin and Soft Tissue Infections: 2014 Update by the Infectious Diseases Society of America, *Clinical Infectious Diseases*, Volume 59, Issue 2, 15 July 2014, Pages e10–e52, <https://doi.org/10.1093/cid/ciu296>
4. Leong HN, Kurup A, Tan MY, Kwa ALH, Liau KH, Wilcox M. Management of complicated skin and soft tissue infections with a special focus on the role of newer antibiotics. *Infect Drug Resist*. 2018 [дата звернення 6 берез. 2026];Volume 11:1959–1974. <https://doi.org/10.2147/idr.s172366>.
5. Stevens DL, Bisno AL, Chambers HF, Dellinger EP, Goldstein EJC, Gorbach SL, Hirschmann JV, Kaplan SL, Montoya JG, Wade JC. Practice Guidelines for the Diagnosis and Management of Skin and Soft Tissue Infections: 2014 Update by the Infectious Diseases Society of America. *Clin Infect Dis*. 2014 [дата звернення 6 берез. 2026];59(2):e10–e52. <https://doi.org/10.1093/cid/ciu296>.
6. Rezaei AR, Zienkiewicz D, Rezaei AR. Surgical site infections: a comprehensive review. *J Trauma Inj*. 2025;38(2):71–81. <https://doi.org/10.20408/jti.2025.0019>
7. Wang, L.; Shi, X. L.; Yue, Y.; Li, L.; Dong, C.; Guan, J.; Ding, J.; Yuan, N.; Chen, Z. G. Advances in solid-state and flexible thermoelectric coolers for battery thermal management systems. *Soft Sci*. 2024, 4, 32. <http://dx.doi.org/10.20517/ss.2024.15>
8. Кобилянський РР, Лисько ВВ, Пасечнікова НВ, Уманець ММ, Задорожний ОС, Розвер ЮЮ, Бабіч АО. Застосування термоелектричного охолодження та нагрівання для керування температурою іригаційної рідини при проведенні офтальмологічних операцій. *Phys Chem Solid*. 2025 [дата звернення 6 берез. 2026];26(1):151–157. <https://doi.org/10.15330/pcss.26.1.151-157>.
9. Ring EFJ, Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiol Meas*. 2012 [дата звернення 6 берез. 2026];33(3):R33–R46. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/33/3/r33>.
10. Lahiri BB, Bagavathiappan S, Jayakumar T, Philip J. Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Phys Amp Technol*. 2012 [дата звернення 6 берез. 2026];55(4):221–235. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2012.03.007>.
11. Полянський Ю, винахідник; Полянський Ю, власник патенту. Пристрій для аускультатії Полянського. Патент України 147805. 16 черв. 2021.
12. Анатичук ЛІ, Полянський Ю, Кобилянський РР, Гаврилук МВ, винахідники; Інститут термоелектрики Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України, власник патенту. Пристрій для контактного вимірювання температури в глибині біологічних тканин та лікування запальних гнійників. Патент України 157800. 27 листоп. 2024.
13. Анатичук ЛІ, Полянський Ю, Кобилянський РР, Гаврилук МВ, винахідники; Інститут термоелектрики Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України, власник патенту. Прилад для комплексного визначення теплового потоку, температури та шумів організму людини. Патент України 157651. 13 листоп. 2024.
14. Кобилянський РР, Полянський Ю, Кобилянська АК, Константинович ІА, Бойчук ВВ, винахідники; Інститут термоелектрики Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України, власник патенту. Прилад для медичної діагностики. Патент України 160626. 24 верес. 2025..

References

1. Costantino M, Piazza O, Coscioni E, Vozzella EA, Longanella W, De Caro F. Analyzing Pre-operative Hospital Stay and Incidence of Hospital Acquired Infection: A Retrospective Study. *Transl Med UniSa*. 2024 May 9;26(1):46-51. doi: 10.37825/2239-9747.1051. PMID: 38957730; PMCID: PMC11218752.
2. Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, Shankar-Hari M, Annane D, Bauer M, et al. The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). *JAMA*. 2016;315(8):801-810. doi: 10.1001/jama.2016.0287
3. Dennis L. Stevens, Alan L. Bisno, Henry F. Chambers, E. Patchen Dellinger, Ellie J. C. Goldstein, Sherwood L. Gorbach, Jan V. Hirschmann, Sheldon L. Kaplan, Jose G. Montoya, James C. Wade, Practice Guidelines for the Diagnosis and Management of Skin and Soft Tissue Infections: 2014 Update by the Infectious Diseases Society of America, *Clinical Infectious Diseases*, Volume 59, Issue 2, 15 July 2014, Pages e10–e52, <https://doi.org/10.1093/cid/ciu296>
4. Leong HN, Kurup A, Tan MY, Kwa ALH, Liau KH, Wilcox MH. Management of complicated skin and soft tissue infections with a special focus on the role of newer antibiotics. *Infect Drug Resist*. 2018 Oct 25;11:1959-1974. doi: 10.2147/IDR.S172366. PMID: 30464538; PMCID: PMC6208867. <https://doi.org/10.2147/idr.s172366>
5. Stevens DL, Bisno AL, Chambers HF, Dellinger EP, Goldstein EJ, Gorbach SL, et al. Practice guidelines for the diagnosis and management of skin and soft tissue infections: 2014 update by the Infectious Diseases Society of America. *Clin Infect Dis*. 2014;59(2):e10-52. doi: 10.1093/cid/ciu296
6. Zou J, Chen M, Li M, Ma G, Chen D. A comprehensive review of surgical site infections: epidemiology, classification, risk factors, microbiological aspects, treatment modalities, and prevention strategies. *J Trauma Inj*. 2025 Jun 27;():e1360. Available from: <https://doi.org/10.20408/jti.2025.0019>
7. Chen M, Wang Z, Li H. Recent advances in solid-state thermal management systems utilizing the Peltier effect for medical cooling. *Appl Energy*. 2023 Jan 1;331:120379. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120379>
8. Kobylanskyi R. Application of thermoelectric cooling and heating to control the temperature of irrigation fluid in ophthalmic surgery. *Phys Chem Solid State*. 2025 Mar 1;26(1):151–157. Available from: <https://doi.org/10.15330/pcss.26.1.151-157>
9. Ring EFJ, Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiol Meas*. 2012;33(3):R33-46. doi: 10.1088/0967-3334/33/3/R33
10. Lahiri BB, Bagavathiappan S, Jayakumar T, Philip J. Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Phys Technol*. 2012;55(4):221-235. doi: 10.1016/j.infrared.2012.03.007
11. Polianskyi IY, inventor; Polianskyi IY, assignee. Device for Polyanskyi's auscultation. Ukraine patent UA 147805 U. 2021 Jun 16.
12. Anatyshuk LI, Polianskyi IY, inventors. Device for contact measurement of temperature in the depth of biological tissues and treatment of inflammatory abscesses. Ukraine patent UA 157800 U. 2024 Nov 27.
13. Anatyshuk LI, Polianskyi IY, inventors. Device for complex determination of heat flow, temperature and noises of the human body. Ukraine patent UA 157651 U. 2024 Nov 13.
14. Kobylanskyi RR, Polianskyi IY, inventors. Device for medical diagnostics. Ukraine patent UA 160626 U. 2025 Sep 24.



©2026
Андрій Міхеєв




Надійшла до редакції 24 січня 2026р.
Прийнята до друку 26 травня 2026р.
Опубліковано на сайті 17 червня 2026р.

УДК 535-31:664:338.436

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.2](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.2)

Сучасні погляди на використання УФ-опромінення для збереження продуктів харчування (огляд літератури)

Андрій Міхеєв

 [0000-0003-2163-8866](https://orcid.org/0000-0003-2163-8866) @: maos@bsmu.edu.ua

Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна

Ключові слова:

продукти харчування,
УФ-випромінювання,
консервація,
органолептичні
властивості,
сенсорне сприйняття.

Анотація

Безпека продуктів харчування є надзвичайно важливим питанням для харчової промисловості та її послуг через чисельні харчові отруєння, що спричиняються потраплянням в організм людини патогенних мікроорганізмів чи продуктів їх життєдіяльності. Проблема продовольчої безпеки є однією з найважливіших світових проблем сьогодення. Для збереження харчових продуктів людство здавна використовувало різноманітні методи – висушування, засолювання, термічну обробку тощо. Проте всі вони мають ряд недоліків, що впливають на органолептичні властивості продуктів та сенсорне сприйняття споживачами. Попит на здорову та якісну їжу стрімко зростає, що вимагає новітніх підходів до її приготування чи збереження. Обробка ультрафіолетовим випромінюванням останнім часом набирає популярності в харчовій промисловості. Це досить швидкий і дешевий спосіб стерилізації рідких і твердих харчових продуктів, а також високоефективний спосіб дезінфекції поверхонь, води і повітря. Ультрафіолетове випромінювання має значний потенціал щодо застосування в харчовій промисловості як альтернатива традиційній термічній обробці для приготування та збереження різноманітних продуктів харчування. Найбільшою перевагою обробки УФ-світлом при оптимальних умовах її використання для продуктів харчування чи води є практично відсутні зміни різноманітних їх характеристик, що можуть вплинути на органолептичні характеристики їжі чи її сенсорне сприйняття споживачами.

У статті звертається увага на сучасний стан вивчення питання застосування УФ-опромінення для збереження продуктів харчування на всіх етапах їх приготування, транспортування чи консервації. Висвітлено основні переваги

Цитувати як:

Міхеєв А. Сучасні погляди на використання УФ-опромінення для збереження продуктів харчування (огляд літератури). *Природничі, математичні науки та освіта в медицині* 1(4) 2026 16-30.

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.2](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.2)



та безпеку застосування цього нетермічного методу деконтамінації продуктів харчування від умовно-патогенних та патогенних мікроорганізмів і практично відсутній вплив на органолептичні чи сенсорні властивості їжі, яка оброблена УФ випромінюванням.

Modern views on the use of UV radiation for food preservation (literature review)

Andriy Mikheev

 [0000-0003-2163-8866](https://orcid.org/0000-0003-2163-8866)  maos@bsmu.edu.ua

Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

Keywords:

*food products,
UV radiation,
preservation,
organoleptic properties,
sensory perception.*

Abstract

Food safety is an extremely important issue for the food industry and its services due to numerous food poisonings caused by the entry of pathogenic microorganisms or their waste products into the human body. The problem of food safety is one of the most important global problems today. To preserve food products, humanity has long used various methods - drying, salting, heat treatment, etc. However, they all have a number of disadvantages that affect the organoleptic properties of products and sensory perception by consumers. The demand for healthy and high-quality food is growing rapidly, which requires new approaches to its preparation or preservation. Ultraviolet radiation treatment has recently been gaining popularity in the food industry. This is a fairly fast and inexpensive method of sterilization of liquid and solid food products, as well as a highly effective method of disinfection of surfaces, water and air. Ultraviolet radiation has significant potential for use in the food industry, as an alternative, to traditional heat treatment for the preparation and preservation of various food products. The greatest advantage of UV light treatment under optimal conditions of its use for food or water is the virtually absence of changes in their various characteristics that can affect the organoleptic characteristics of the food or its sensory perception by consumers.

The article draws attention to the current state of research on the use of UV radiation to preserve food at all stages of its preparation, transportation, or preservation. The main advantages and safety of using this method of decontamination of food products from opportunistic and pathogenic microorganisms, the absence of impact on the organoleptic or sensory properties of food treated with UV radiation.

Зміст

Вступ	18
Матеріали та методи	18
Результати досліджень та їх обговорення	18
Висновки	24
Список використаних джерел	24

Перелік скорочень:

УФ, UV - ультрафіолетовий

УФ-А - УФ випромінювання з довжинами хвиль 320–400нм

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

УФ-В - УФ випромінювання з довжинами хвиль 280–320нм

УФ-С - УФ випромінювання з довжинами хвиль 200–280нм

ВООЗ - всесвітня організація охорони здоров'я

ДНК - дезоксирибонуклеїнова кислота

РНК - рибонуклеїнова кислота

AFM1 - афлатоксин М1

SarsCoV-2 - Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2

Вступ

Безпека продуктів харчування є надзвичайно важливим питанням для харчової промисловості та її послуг через чисельні харчові отруєння, що спричиняються потраплянням в організм людини патогенних мікроорганізмів чи продуктів їх життєдіяльності (токсини, ферменти тощо) [1]. Згідно даних ВООЗ майже 600 мільйонів людей, тобто практично кожна десята людина у світі, хворіють чи захворіли після вживання забрудненої їжі, а більше 400 000 щороку помирають від харчових отруєнь [2]. Продовольство, його виробництво, розподіл і споживання – найголовніші елементи світової господарської системи [3]. Значимість продовольчої проблеми визначається насамперед тим, що у структурі потреб людини потреба в їжі є першочерговою і часто ступінь її задоволення є недостатньою [4]. Саме тому проблема продовольчої безпеки є однією з найважливіших світових проблем сьогодення [5]. Це зумовлене не лише зростанням цін на

продукти харчування, а й нерівномірністю їх наявності на ринку, що призвело до їх недоступності для багатьох сімей в країнах що розвиваються [6]. Різноманітні продукти харчування при такому стані питання є не лише важливим компонентом міжнародного ринку, а можуть бути важливими джерелами хвороботворних мікроорганізмів, оскільки створюють сприятливі умови для їх розвитку (вони багаті на поживні речовини – вуглеводи, ліпіди, білки, незамінні амінокислоти, вітаміни, мінерали тощо) [7]. Таким чином, виробництво якісної продукції, яка не становить ризику для здоров'я споживачів, є великою проблемою та викликом у сфері виробництва харчових продуктів. І це стосується практично усіх підрозділів харчової промисловості, оскільки забруднення продуктів може відбуватися на різних етапах виробництва з найрізноманітніших джерел, а також у процесі зберігання чи транспортування.

Мета роботи – на основі доступних літературних джерел окреслити перспективи використання УФ-опромінення для збереження продуктів харчування в сучасному світі.

Матеріали та методи

Для огляду використано дані доступних наукометричних баз Google Scholar, MDPI, PubMed, ScienceDirect, Web of Science тощо та проведено аналіз наукових підручників і монографій.

Методи проведених дослідження: інформаційно-аналітичний та порівняльний аналіз літературних джерел із досліджуваної проблеми за останні 5 років.

Результати досліджень та їх обговорення

Для збереження харчових продуктів людство здавна використовувало різноманітні методи – висушування, стерилізація парою чи високими температурами, засолювання тощо. Наприклад, висушування з метою вилучення з про-

лізування парою чи високими температурами, засолювання тощо. Наприклад, висушування з метою вилучення з про-

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

дуктів зайвої вологи, яка сприяла гниттю, появі цвілі чи накопиченню мікробної маси [8]. Природним простим методом віками слугувало сушіння на сонці, часом із використанням сушарок. Штучними методами сушіння продуктів харчування, що використовуються для зменшення втрат кінцевого продукту та підвищення комерційної цінності, на сьогодні є радіаційне, сублімаційне, осмотичне, діелектричне сушіння тощо. Окрім того, існують новітні технології висушування – мікроінкапсуляція та нанотехнології, які все частіше використовуються, проте є досить енергозатратними. Також даний метод збереження підходить не для усіх продуктів, окрім того сушені продукти підходять для споживання не всім категоріям населення, наприклад дітям.

Наступний метод – це термічна обробка, як традиційний метод для забезпечення безпеки та продовження терміну придатності продуктів [9], що є досить ефективною технологією, зокрема її такий різновид як пастеризація [10]. Термічна обробка харчових продуктів широко використовується в харчовій промисловості, і є чи не найважливішим методом консервування, а також одним із важливих методів з контролю, усунення чи навіть зменшення вмісту патогенів, а також для деградації токсинів та антинутриєнтів (що перешкоджають засвоєванню поживних речовин, наприклад лектини чи оксалати) факторів у окремих продуктах (бобові, зелень тощо). Хоча термічна обробка є досить ефективною, вона може негативно впливати на сенсорне сприйняття їжі споживачами, може призвести до втрати поживного складу, вітамінів, окислення ліпідів та денатурації білків, що призводить до зниження якості харчових продуктів з погіршенням їх органолептичних властивостей [11, 12, 13]. Ще одним недоліком є те, що термічна обробка вимагає високого споживання енергії (електричної

чи теплової), а це може негативно вплинути на кінцеву цінність продукту для забезпечення прибутковості галузі [14].

Досить перспективним методом збереження продуктів харчування могла б стати їх обробка ультразвуком чи мікрохвилями [15]. Ультразвукова технологія є відносно новою та допомагає переробці/консервації харчових продуктів відійти від традиційних термічних технологій через їх негативний вплив на якість, склад та органолептичні властивості. Поєднання ультразвуку та мікрохвиль може бути застосоване в харчовій промисловості, при цьому мікрохвилі підвищують швидкість нагрівання, а ультразвук покращує ефективність теплообміну в досить масивних об'ємах продуктів, що обробляються. Це допоміжний засіб ефективного мікрохвильового нагрівання, що є екологічно чистим та має широкий спектр застосування в харчовій промисловості через дію не лише на мікроорганізми, а й їхні спори [16]. Проте, також підходить далеко не для всіх продуктів, окрім того є скептичні погляди стосовно впливу мікрохвиль чи ультразвуку на людину через нерозуміння окремих термінів, наприклад, ультраоброблена їжа чи продукти [17]. Сучасні споживачі досить ретельно підбирають продукти для власного споживання, а тому намагаються уникати ультраобробленої їжі, продуктів із високим вмістом солі, цукру, консервантів чи оброблених новітніми технологіями, що є для них не зовсім зрозумілими.

У цьому контексті технології обробки харчових продуктів, що застосовуються для зберігання чи консервування продуктів без небажаних наслідків термічної обробки, викликали значний науковий, промисловий та суспільний інтерес [18]. Великий інтерес мають технології переробки та збереження харчових продуктів, які мають мінімальний вплив на органолептичні властивості самих продуктів, їх сприйняття споживачами,

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

зручності технологій та мінімальні затрати і, відповідно, можуть змінити як соціальне середовище, так і бізнес [19]. Ці технології збереження харчових продуктів є вигідними, оскільки можуть сприяти значному скороченню часу обробки порівняно з традиційними методами, зменшенню витрат на електроенергію, що призводить до зниження собівартості самих харчових продуктів, а також відсутності втрати цінних харчових та інших властивостей самих продуктів [20].

Ще з минулого століття в своїй діяльності людство застосовувало оптичне випромінювання в ультрафіолетовому діапазоні (200-400 нм), що дало можливість вирішити низку питань для дезінфекції поверхонь, для лікування шкірних захворювань, очищення повітря і води від шкідливих забруднень та мікроорганізмів та сприяло збереженню екологічно чистого середовища через відсутність шкідливих відходів чи процесів виробництва із високим споживанням теплової та електричної енергії [21]. Ультрафіолетове випромінювання сьогодні є важливим фактором боротьби з вірусами, зокрема грипу та SarsCoV-2 [22], оскільки віруси досить чутливі до УФ променів. Також на сьогодні УФ-технології успішно застосовуються у промисловості, харчовій промисловості, сільському господарстві, інженерії тощо [23]. Це стало можливим завдяки широкому використанню безпечних штучних джерел ультрафіолетового випромінювання різного призначення – від промисловості до побуту.

Оскільки щоденний попит на здорові, безпечні та якісні продукти харчування зростає, а недоліки методів термічної обробки сприяють вдосконаленню нетермічних методів збереження харчових продуктів, стрімко розвивається технологія використання УФ-випромінювання саме у харчовій промисловості. Ультрафіолетове світло має значні перспективи в харчовій промисловості саме як альтер-

натива традиційній термічній обробці [24]. Найчастіше при цьому вказується використання короткохвильового ультрафіолетового світла (УФ-С, 254 нм), що є досить дешевою технологією, яка практично не залишає жодних сторонніх компонентів та ефективно інактивує мікроорганізми практично не завдаючи з шкоди якості харчових продуктів. Його застосування може включати як стерилізацію соків, обробку м'яса, так і обробку поверхонь, що контактують з харчовими продуктами, а також особливо з метою подовження терміну зберігання свіжих продуктів [25, 26]. Автори наголошують, що саме УФ-С випромінювання має високий бактерицидний ефект на різні мікроорганізми в м'ясопереробній промисловості за рахунок пошкодження ДНК або РНК та загибелі клітин бактерій, проте має незначний вплив на якість м'яса та м'ясних продуктів, залежно від різних параметрів обробки. Окрім того, правильне застосування УФ-С опромінення, як методу консервування, може бути корисним з точки зору складу харчових продуктів. Однак тривалий вплив УФ-С може негативно впливати на харчову цінність окремих рідких харчових продуктів, оскільки низка фотохімічних реакцій може спричинити утворення вільних радикалів, що потенційно зменшує кількість корисних компонентів, що містяться в цих харчових продуктах.

Ультрафіолетове світло є відносно новим прикладом використання технологій нетермічної обробки харчових продуктів, які можна широко використовувати для виробництва харчових продуктів з довшим терміном зберігання, більш безпечних та з вищою поживною якістю та за досить низьких температур – до 30 °C [27]. При цьому, хоч і ультрафіолетове опромінення є ефективним методом нетермічної обробки харчових продуктів, проте не менш важливо враховувати його вплив як на самі харчові продукти (зокрема їх ре-

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

ологічні та текстурні властивості), так і їх органолептичні властивості. Наприклад, такі параметри як колір, смак та запах продукту, часто відіграють ключову роль у вподобаннях споживачів. Було показано, що УФ-опромінення має мінімальний вплив на фізичні, хімічні, харчові та органолептичні властивості харчових продуктів, зберігаючи при цьому їх якість, однак його вплив може значно відрізнятися залежно їх походження чи складу – фрукти, овочі, соки, молоко, свинина, яловичина, риба, індичка та курка [28]. Вказується, що реологічні та текстурні зміни продуктів за дії УФ-С опромінення зазвичай відбуваються на поверхні зразків через низьке проникнення світла цієї довжини хвилі (200-280 нм). Інтенсивна обробка ультрафіолетом може спричинити порушення клітинних мембран зі втратою тургору, змінами текстурних та реологічних властивостей харчових продуктів, а це негативно відображатиметься на сприйнятті споживачами.

При цьому різні спектри УФ-світла мають значну бактерицидну дію для інактивації широкого спектру мікробних патогенів (наприклад, бактерій, грибків, дріжджів, цвілі та вірусів), ефективно запобігаючи харчовим отруєнням та збільшуючи термін придатності харчових продуктів без шкоди для їх якості шляхом зменшення мікробного навантаження [29]. В цілому ультрафіолетове випромінювання охоплює невелику частину електромагнітного спектру. Воно включає випромінювання спектру від 100 до 400нм і класифікується як УФ-А (320–400нм), УФ-В (280–320 нм) та УФ-С (200–280нм) [30]. Наприклад, діапазон УФ-А є м'яким випромінюванням, що добре проникає через шкіру людини і призводить до ефекту засмаги. Випромінювання в діапазоні УФ-В здатне викликати сонячні опіки, а при тривалій і систематичній дії може приводити до захворювань шкіри. УФ-С діапазон опромінювання вважа-

ється жорстким, що добре поглинається білковими молекулами та викликає загибель бактерій, вірусів, найпростіших та цвілі, спричиняє незворотні мутації геному мікроорганізмів чи втрату розмноження. Саме цей діапазон називають бактерицидним. Проте світло в діапазоні УФ-С погано проникає в шкіру людини і може призводити до опіків, а також до онкологічних захворювань шкіри

Обробка ультрафіолетовим світлом переважно проводиться за відносно низьких температур, зокрема температури оточуючого середовища та позиціонується як метод нетермічної дезінфекції [31]. Головною перевагою його використання як нетермічного методу полягає у тому, що під час обробки не утворюються відомі токсичні або значні нетоксичні побічні продукти, можна видалити певні органічні забруднювачі, під час обробки води не утворюється сторонній присмак чи запах, а сама обробка ультрафіолетом є менш енерговитратною у порівнянні з процесами термічної обробки, зокрема пастеризації.

Свіжі харчові продукти можна обробляти за допомогою ультрафіолетового світла як бактерицидного середовища для зменшення мікробного навантаження, що передається їжею [32]. Відомо, що забруднення свіжих продуктів патогенними мікроорганізмами найчастіше відбувається під час або/та після збору врожаю. Починається воно з поверхні неушкоджених продуктів, а згодом може поширюватися на внутрішні частини під час обробки. Тому поверхнєве знезараження свіжих продуктів за допомогою дезінфікуючих засобів є звичайною практикою, а ультрафіолетове опромінення може стати альтернативою фізичній обробці без небажаних змін якості та утворення токсичних побічних продуктів дезінфекції.

Воду вже досить давно обробляють ультрафіолетовим світлом для отримання питної води [33]. Основні критерії щодо

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

якості питної води в цілому були визначені ще у минулому столітті і стосуються безпеки води в епідемічному відношенні, відсутності шкідливих хімічних складових та задовільних органолептичних властивостей. У цьому сенсі тенденції щодо застосування методу знезараження води ультрафіолетом замість традиційного хлорування та інших хімічних методів зумовлена вимогами до якості води та відсутністю побічних продуктів, які присутні при хімічних методах знезараження. Окрім цього, у період війни чи техногенної катастрофи існує велика потреба індивідуального знезараження води з використанням простих та ефективних засобів і альтернативою класичному методу є використання ультрафіолетового випромінювання. Зокрема мова йде про використання компактних та енергозберігаючих світлодіодних УФ-ламп, які мають перевагу перед старими ртутними лампами низького тиску.

Фрукти та овочі, що переробляються на пюре та соки, зазвичай дуже добре підходять для обробки ультрафіолетовим світлом для зменшення мікробної контамінації [34]. Овочі та фрукти багаті на фітонутрієнти, вітаміни, мінерали, каротиноїди, антиоксиданти, поліфеноли та харчові волокна, які є необхідними для здоров'я людини. Їх споживання останніми роками зросло у зв'язку з обізнаністю споживачів стосовно збалансованого харчування. Проте при їх виробництві спостерігається збільшення втрат харчових продуктів у вигляді відходів та побічних продуктів, що зумовлене традиційними (термічними) методами обробки та консервації. Тому використання ультрафіолетового світла для обробки рідких фруктових та овочевих продуктів набирає популярності завдяки нетермічному характеру та відсутності сторонніх хімічних компонентів, які потрапляють у продукти при дезінфекції хімічним способом. На сьогодні більшість цих продуктів

пастеризують для отримання мікробіологічно безпечних та поживних продуктів. Однак пастеризація може змінити смак та аромат таких продуктів через температуру та час обробки. Овочеві та фруктові соки можна обробляти, впливаючи ультрафіолетовим світлом у різних дозах [35]. Водночас автори наголошують, що слід враховувати час впливу, тип продукту, його колір та склад, щоб отримати продукти мали не лише знижений рівень мікробного навантаження поруч зі збільшеним терміном зберігання, а й адекватними сенсорними та поживними характеристиками для споживачів.

Також технології обробки ультрафіолетом можуть бути ефективним заміником пастеризації сировини для окремих твердих харчових продуктів (наприклад сири чи масло), скільки дія температури при пастеризації здатна зруйнувати білкові молекули, що призведе до дефектів смаку цих продуктів та сприйняття споживачами [36]. Наприклад, термічна обробка є найпоширенішим методом деконтамінації в молочній промисловості для забезпечення безпеки продуктів та продовження терміну придатності. Однак, через зростання споживчого попиту на більш натуральні та здорові продукти, нетермічні технології поступово можуть витіснити традиційні методи і в молочній промисловості. Опромінення короткохвильовим ультрафіолетовим світлом має деякі технологічні переваги завдяки низьким витратам на обслуговування та встановлення спеціалізованого обладнання, мінімальному споживанню електроенергії та консервації без деяких небажаних ефектів термічної обробки молока та молочних продуктів [37, 38]. При цьому зазначається, що ультрафіолетове випромінювання (УФ-С, 254нм) є ефективним методом інактивації патогенних та умовно-патогенних мікроорганізмів у молоці та молочних продуктах. Автори зазначають, що виявлене вірогідне зни-

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

ження рівня афлатоксину M1 (AFM1) на 50% у знежиреному молоці після обробки упродовж 20-ти хвилин ультрафіолетовим світлом з довжиною хвилі 254 нм. Водночас УФ-А світло в поєднанні з натуральними консервантами та ультразвуком здатне інактивувати грам-позитивні та грамнегативні мікроорганізми в молоці практично на 99,99%. Без суттєвих змін кольору та смаку.

Прагнення подолати голод, а також власне безпека харчових продуктів є важливою для забезпечення продовольчої безпеки у світі. Цього слід вимагати та дотримуватися на різних етапах процесів переробки харчових продуктів для гарантії їх безпеки та які повинні потрапляти на стіл споживачів без жодних забруднень. Адже відомо безліч потенційних місць забруднення харчових продуктів умовно-патогенними або патогенними мікроорганізмами, а також хімічними речовинами під час переробки, транспортування чи зберігання харчових продуктів. Зосереджуючись на мікробній безпеці харчових продуктів на етапі після збору врожаю, було досліджено різноманітні методи консервування харчових продуктів з різним ступенем обробки. При цьому серед усіх методів обробка ультрафіолетовим світлом, зокрема УФ-С світлом, є сучасною ефективною нетермічною технологією для інактивації мікроорганізмів у продуктах харчування чи технологіях їх збереження та приготування [39, 40, 41]. Адже УФ-С світло з довжиною хвилі від 200 до 280 нм здатне ефективно проникати в мікробні клітини та пошкоджувати їх ДНК, тим самим запобігаючи реплікації та спричиняючи загибель клітин. Головною перевагою ультрафіолетового випромінювання є його ефективність у інактивації мікробів без застосування хімічних речовин, що відповідає зростаючому споживчому попиту на натуральні та мінімально оброблені продукти. При

цьому така обробка має відносно низькі експлуатаційні витрати та може бути легко інтегрована в існуючі виробничі лінії, що робить її економічно ефективним рішенням для багатьох виробників харчових продуктів. Хоча кожна з них має переваги та недоліки у своєму масштабі застосування для обробки харчових продуктів, різноманітні дослідження продемонстрували потенціал цих технологій для заміни традиційної термічної обробки чи пастеризації [42]. Також певним недоліком може стати неправильне застосування обробки ультрафіолетом, що може суттєво змінити склад харчових продуктів, включно з руйнуванням білків, антиоксидантів, окисленням ліпідів, а також зміни кольору та смаку.

Обробка та консервування харчових продуктів постійно створюють значні труднощі для харчової промисловості при знищенні патогенних та зменшенні кількості умовно-патогенних та непатогенних мікроорганізмів у кінцевих продуктах з продовженням терміну їх придатності і мінімізуючи при цьому погіршення якості. Стерилізація харчових продуктів спрямована на знищення мікроорганізмів та забезпечення безпеки харчових продуктів і включає на сьогодні переважно термічну обробку, проте вона може суттєво впливати на органолептичні та сенсорні характеристики окремих харчових продуктів [43, 44, 45]. Також зростання попиту споживачів на більш натуральні та здорові продукти харчування без хімічних консервантів сприяло останніми роками зростанню досліджень, які зосереджені на продовженні термінів придатності за допомогою обробки та процесів консервації, які не передбачають нагрівання. І однією з таких технологій є застосування ультрафіолетового світла, що робить його використання для збереження харчових продуктів перспективною альтернативою традиційній термічній консервації [46].

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

Оцінюючи ефективність ультрафіолетового випромінювання слід не забувати про його потенційний шкідливий вплив на живі організми, у тому числі людину (очі, шкіра) [47]. Зазвичай це стосується у першу чергу медичних працівників, де є тривале використання ультрафіолету з метою знезараження повітря чи поверхонь [48, 49]. Дослідження показують, що в період пандемії SARS-CoV-2 фільтрація повітря та ультрафіолетове випромінювання у лікувально-профілактичних закладах, очищують повітря та запобігають поширенню патогенів між людьми навіть під час їх перебування у приміщенні [50]. У промисловому застосуванні ризик негативного впливу ультрафіолету для працівників також існує, проте він залежить власне від джерела УФ-опромінення та

часу експозиції [51, 52]. При цьому наголошується більший ризик шкідливого спливу УФ-С світла від штучних джерел опромінення, що може бути усунений або нівельований певними заходами безпеки при роботі, її автоматизацією та використанням сучасних джерел ультрафіолету [53]. З цією метою також розроблено певні професійні пристрої для відстеження та моніторингу шкідливого впливу ультрафіолетового опромінення (My Skin Track UV для вимірювання рівня УФ випромінювання та захисту від сонця; QSun для відстеження щоденного сонячного випромінювання тощо) [54]. Хоча це й поодинокі заходи безпеки при роботі з ультрафіолетом переважно природнього походження, вочевидь вони можуть бути використані і на виробництві.

Висновки

Таким чином, як показують доступні літературні джерела, обробка ультрафіолетовим випромінюванням останнім часом набирає популярності в харчовій промисловості. Це досить швидкий і дешевий спосіб стерилізації рідких і твердих харчових продуктів, а також високоефективний спосіб дезінфекції поверхонь, води і повітря. Ефективність обробки ультрафіолетом залежить від низки параметрів (тривалість, доза, довжина хвилі), а також типу самих продуктів. Ультрафіолетове випромінювання має значний потенціал щодо застосування в харчовій

промисловості як альтернатива традиційній термічній обробці для приготування та збереження різноманітних продуктів харчування – води, соків, молока та молочних продуктів, морепродуктів, м'ясних продуктів, продовження терміну зберігання свіжих плодів та овочів. Найбільшою перевагою обробки УФ-світлом при оптимальних умовах її використання для продуктів харчування чи води є практично відсутні зміни різноманітних їх характеристик, що можуть вплинути на органолептичні характеристики їжі чи її сенсорне сприйняття споживачами.

Конфлікт інтересів

Автор декларує відсутність фінансових або інших конфліктів інтересів, які могли вплинути на результати, інтерпретацію та висновки дослідження

Список використаних джерел

1. Snyder AB, Martin N, Wiedmann M. Microbial food spoilage: impact, causative agents and control strategies. *Nature Reviews Microbiology*. 2024 [цитовано 20 січ. 2026]; Apr 3;22(9):528–42. <http://dx.doi.org/10.1038/s41579-024-01037-x>.
2. Grace D. Burden of foodborne disease in low-income and middle-income countries and opportunities for scaling food safety interventions. *Food Security*. 2023 [цитовано 20 січ. 2026]; Sep 5;15(6):1475–88. <http://dx.doi.org/10.1007/s12571-023-01391-3>.
3. Drebot O, Palapa N, Dikhtyar I. Food security is a global problem of humanity and the main factors affecting it. *Agroecological journal*. 2024 [цитовано 20 січ. 2026]; Jul 18;(3):6–17.

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

- <http://dx.doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311176>.
4. Sorbo A, Pucci E, Nobili C, Taglieri I, Passeri D, Zoani C. Food Safety Assessment: Overview of Metrological Issues and Regulatory Aspects in the European Union. *Separations*. 2022 [цитовано 20 січ. 2026]; Feb 17;9(2):53. <http://dx.doi.org/10.3390/separations9020053>.
 5. Nasirkhodjaeva D, Yatsenko O, Topildiev S, Bibla I. Global Food Security: Condition, Problems and Areas of Provision. *Міжнародна економічна політика*. 2022 [цитовано 20 січ. 2026]; Dec 1;(37):7-37. <http://dx.doi.org/10.33111/iep.2022.37.01>.
 6. Priss O. The Development of the World Economy and the Impact of the Global Food Crisis 2022-2023. *Economic Affairs*. 2023 [цитовано 20 січ. 2026]; Feb 12;68(1s). <http://dx.doi.org/10.46852/0424-2513.1s.2023.5>.
 7. Gupta AK, Chaudhary A. Food poisoning: causes, its effects and control. *INWASCON Technology Magazine*. 2022 [цитовано 21 січ. 2026]; 4:59-61. <http://dx.doi.org/10.26480/itechmag.04.2022.59.61>.
 8. Adeyeye SAO, Ashaolu TJ, Babu AS. Food Drying: A Review. *Agricultural Reviews*. 2022 [цитовано 21 січ. 2026]; Jul 30;(Of). <http://dx.doi.org/10.18805/ag.r-2537>.
 9. Deak T, Mohácsi-Farkas C. Thermal Treatment. *Food Safety Management*. 2023 [цитовано 20 січ. 2026]; 405-19. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-820013-1.00008-5>.
 10. Azizi-Lalabadi M, Moghaddam NR, Jafari SM. Pasteurization in the food industry. *Thermal Processing of Food Products by Steam and Hot Water*. 2023 [цитовано 20 січ. 2026]; 247-73. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-818616-9.00009-2>.
 11. Dash KK, Fayaz U, Dar AH, Shams R, Manzoor S, Sundarsingh A, et al. A comprehensive review on heat treatments and related impact on the quality and microbial safety of milk and milk-based products. *Food Chemistry Advances*. 2022 [цитовано 20 січ. 2026]; Oct;1:100041. <http://dx.doi.org/10.1016/j.focha.2022.100041>.
 12. Deak T, Mohácsi-Farkas C. Thermal Treatment. *Food Safety Management*. 2023 [цитовано 20 січ. 2026]; 405-19. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-820013-1.00008-5>.
 13. Titikshya S, Sahoo M, Kumar V, Naik SN. Microbial Inactivation with Heat Treatments. *Thermal Food Engineering Operations*. 2022 [цитовано 20 січ. 2026]; Mar 28;45-74. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119776437.ch2>.
 14. Galanakis CM. The Future of Food. *Foods*. 2024 [цитовано 20 січ. 2026]; Feb 6;13(4):506. <http://dx.doi.org/10.3390/foods13040506>.
 15. Li M, Zhou C, Wang B, Zeng S, Mu R, Li G, et al. Research progress and application of ultrasonic- and microwave-assisted food processing technology. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2023 [цитовано 21 січ. 2026]; Jun 22;22(5):3707-31. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.13198>.
 16. Onyeaka H, Miri T, Hart A, Anumudu C, Nwabor OF. Application of Ultrasound Technology in Food Processing with emphasis on bacterial spores. *Food Reviews International*. 2021 [цитовано 20 січ. 2026]; Dec 6;39(7):3663-75. <http://dx.doi.org/10.1080/87559129.2021.2013255>.
 17. Saulais L, Corcuff R, Boonefaes E. Natural and healthy? Consumers knowledge, understanding and preferences regarding naturalness and healthiness of processed foods. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2023 [цитовано 20 січ. 2026]; Mar;31:100662. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100662>.
 18. Talib A, Samad A, Hossain MJ, Muazzam A, Anwar B, Atique R, et al. Modern trends and techniques for food preservation. *Food and Life*. 2024 [цитовано 21 січ. 2026]; Mar 30;2024(1):19-32. <http://dx.doi.org/10.5851/fl.2024.e6>.
 19. Kumar S, Mukherjee A, Mitra A, Halder D. *Emerging Technologies in Food Preservation*. CRC Press; 2023 [цитовано 21 січ. 2026]. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003147978>.
 20. Осипова Л, Жмудь А, Коваленко Л. Використання інноваційних підходів до збереження харчової цінності продуктів під час термічної обробки. *Innovations and Technologies in the Service Sphere and Food Industry*. 2025 [цитовано 20 січ. 2026]; Feb 19;(1(15)):27-32. [http://dx.doi.org/10.32782/2708-4949.1\(15\).2025.5](http://dx.doi.org/10.32782/2708-4949.1(15).2025.5).
 21. Lisboa HM, Pasquali MB, dos Anjos AI, Sarinho AM, de Melo ED, Andrade R, et al. Innovative and Sustainable Food Preservation Techniques: Enhancing Food Quality, Safety, and Environmental Sustainability. *Sustainability*. 2024 [цитовано 21 січ. 2026]; Sep 21;16(18):8223. <http://dx.doi.org/10.3390/su16188223>.
 22. Biasin M, Strizzi S, Bianco A, Macchi A, Utyro O, Pareschi G, et al. UV and violet light can Neutralize SARS-CoV-2 Infectivity. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 2022 [цитовано 22 січ. 2026]; Jun;10:100107. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpap.2021.100107>.
 23. Guerrero S, Schenk M, Fenoglio D, Andreone A, Kozono ML. Ultraviolet light for food and beverage preservation: exploring the latest advancements and potential challenges ahead. *Innovative Food Packaging and Processing Technologies*. 2025 [цитовано 22 січ. 2026]; 45-107. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-323-91742-1.00014-3>.
 24. Guerrero SN, Ferrario M, Schenk M, Fenoglio D, Andreone A. Ultraviolet Light. *Electromagnetic Technologies in Food Science*. 2021 [цитовано 20 січ. 2026]; Nov 18;128-80. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119759522.ch6>.

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

25. Wang J, Chen J, Sun Y, He J, Zhou C, Xia Q, et al. Ultraviolet-radiation technology for preservation of meat and meat products: Recent advances and future trends. *Food Control*. 2023 [цитовано 22 січ. 2026]; Jun;148:109684. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109684>.
26. Tchonkouang RD, Lima AR, Quintino AC, Cristofoli NL, Vieira MC. UV-C Light: A Promising Preservation Technology for Vegetable-Based Nonsolid Food Products. *Foods*. 2023 [цитовано 20 січ. 2026]; Aug 27;12(17):3227. <http://dx.doi.org/10.3390/foods12173227>.
27. Pandiselvam R, Barut Gök S, Yüksel AN, Tekgül Y, Çalışkan Koç G, Kothakota A. Evaluation of the impact of UV radiation on rheological and textural properties of food. *Journal of Texture Studies*. 2022 [цитовано 22 січ. 2026]; Mar 10;53(6):800–8. <http://dx.doi.org/10.1111/jtxs.12670>.
28. Rajasekaran B, Murugan G, Venkatachalam K. Impact of UV Irradiation on the Color Profile of Food. *Non-Thermal Food Processing Technologies*. 2024 [цитовано 22 січ. 2026]; Aug 13;201–21. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003486916-8>.
29. Sardar NR. Ultraviolet light food processing: A mini concept. *Emergent Life Sciences Research*. 2023 [цитовано 22 січ. 2026]; 09(01):49–53. <http://dx.doi.org/10.31783/elsr.2023.914953>.
30. Семенов АО, Попов СВ, Сахно ТВ, Тарасенко ДС. Ультрафіолет: сфери використання та джерела випромінювання. Монографія. Полтава: ПП «Астры»;2023 [цитовано 20 січ. 2026]. 190.
31. Chiozzi V, Agriropoulou S, Varzakas T. Advances, Applications, and Comparison of Thermal (Pasteurization, Sterilization, and Aseptic Packaging) against Non-Thermal (Ultrasounds, UV Radiation, Ozonation, High Hydrostatic Pressure) Technologies in Food Processing. *Applied Sciences*. 2022 [цитовано 20 січ. 2026]; Feb 20;12(4):2202. <http://dx.doi.org/10.3390/app12042202>.
32. Yemmireddy V, Adhikari A, Moreira J. Effect of ultraviolet light treatment on microbiological safety and quality of fresh produce: An overview. *Frontiers in Nutrition*. 2022 [цитовано 22 січ. 2026]; Jul 22;9. <http://dx.doi.org/10.3389/fnut.2022.871243>.
33. Leonov YuI, Vergolyas MR, et al. Ways of improving the method of using UV radiation for disinfecting drinking water (literature review). *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 2023 [цитовано 22 січ. 2026]; Jun 30;2023(2):151–60. <http://dx.doi.org/10.33573/ujoh2023.02.151>.
34. Salazar F, Pizarro-Oteiza S, Kasahara I, Labbé M. Effect of ultraviolet light-emitting diode processing on fruit and vegetable-based liquid foods: A review. *Frontiers in Nutrition*. 2022 [цитовано 22 січ. 2026]; Nov 29;9. <http://dx.doi.org/10.3389/fnut.2022.1020886>.
35. Salazar-Zúñiga MN, Lugo-Cervantes E, Rodríguez-Campos J, Sanchez-Vega R, Rodríguez-Roque MJ, Valdivia-Nájara CG. Pulsed Light Processing in the Preservation of Juices and Fresh-Cut Fruits: A Review. *Food and Bioprocess Technology*. 2022 [цитовано 22 січ. 2026]; Aug 15;16(3):510–25. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-022-02891-4>.
36. Sunil CK, Goyal MR, Birwal P, Mahendran R. Nonthermal Light-Based Technologies in Food Processing. Apple Academic Press; 2024 [цитовано 22 січ. 2026]. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003503743>.
37. Nguyen T, Palmer J, Loo T, Shilton A, Petcu M, Newson HL, et al. Investigation of UV light treatment (254 nm) on the reduction of aflatoxin M1 in skim milk and degradation products after treatment. *Food Chemistry*. 2022 [цитовано 22 січ. 2026]; Oct;390:133165. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133165>.
38. Hales BR, Walsh MK, Bastarrachea LJ. Synergistic effect of high-intensity ultrasound, UV-A light, and natural preservatives on microbial inactivation in milk. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022 [цитовано 22 січ. 2026]; Jan 27;46(3). <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.16392>
39. Darré M, Vicente AR, Cisneros-Zevallos L, Artés-Hernández F. Postharvest Ultraviolet Radiation in Fruit and Vegetables: Applications and Factors Modulating Its Efficacy on Bioactive Compounds and Microbial Growth. *Foods*. 2022 [цитовано 22 січ. 2026]; Feb 23;11(5):653. <http://dx.doi.org/10.3390/foods11050653>.
40. Lisboa HM, Pasquali MB, dos Anjos AI, Sarinho AM, de Melo ED, Andrade R, et al. Innovative and Sustainable Food Preservation Techniques: Enhancing Food Quality, Safety, and Environmental Sustainability. *Sustainability*. 2024 [цитовано 22 січ. 2026]; Sep 21;16(18):8223. <http://dx.doi.org/10.3390/su16188223>.
41. Singh C, Joshi NU, Kumar R, Neha, Kumar A. Ultraviolet Rays in Food Processing. *Nonthermal Food Engineering Operations*. 2024 [цитовано 22 січ. 2026]; May 23;435–85. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119776468.ch13>.
42. Pihen C, Paris MJ, López-Malo A, Ramírez-Corona N. Microbial Food Safety Through Emerging Technologies Based on Ultraviolet Light for Liquid Food Processing. *Contributions of Chemical Engineering to Sustainability*. 2024 [цитовано 22 січ. 2026]; 21–70. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-55594-7_2.
43. Rabbani A, Ayyash M, D'Costa CDC, Chen G, Xu Y, Kamal-Eldin A. Effect of Heat Pasteurization and Sterilization on Milk Safety, Composition, Sensory Properties, and Nutritional Quality. *Foods*. 2025 [цитовано 22 січ. 2026]; Apr 14;14(8):1342. <http://dx.doi.org/10.3390/foods14081342>.
44. Liu X, Zhou K, Chen B, Xie Y, Ma Y, Zhou H, et al. Insight into the evolution of textural properties and juiciness of ready-to-eat chicken breasts upon

Розділ 1. Природничі науки в медицині
 Section 1. Natural sciences in medicine

- different thermal sterilization: From the perspective of protein degradation. *Journal of Texture Studies*. 2024 [цитовано 22 січ. 2026]; May 22;55(3). <http://dx.doi.org/10.1111/jtxs.12835>.
45. Wu M, Zhang S, Long R, Mintah BK, Dabbour M, Ma H, et al. Research Progress on the Effects of Thermosonication on the Sterilization and Quality of Liquid Foods. *Journal of Food Process Engineering*. 2025 [цитовано 22 січ. 2026]; Jul;48(7). <http://dx.doi.org/10.1111/jfpe.70189>.
46. Jaiswal M., Debbarma M., Makroo H. A., Koutchma T., Srivastava B. Food Preservation Using Ultraviolet Light. In *Emerging Technologies in Food Preservation* (pp. 159-198). CRC Press; 2023 [цитовано 22 січ. 2026]. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003147978>.
47. Hamouda SA, Alshawish NK, Abdalla YK, Ibrahim MK. Ultraviolet Radiation: Health Risks and Benefits. *Saudi Journal of Engineering and Technology*. 2022 [цитовано 9 лют. 2026]. Nov 18;7(10):533-41. <http://dx.doi.org/10.36348/sjet.2022.v07i10.001>.
48. Görlitz M, Justen L, Rochette PJ, Buonanno M, Welch D, Kleiman NJ, et al. Assessing the safety of new germicidal-far UV-C-technologies. *Photochemistry and Photobiology*. 2023 [цитовано 9 лют. 2026]. Nov 6;100(3):501-20. <http://dx.doi.org/10.1111/php.13866>.
49. Matthew UO, Nwanakwaugwu AC, Kazaure JS, Nwamouh UC, Haruna K, Okafor NU, et al. Ultra Violet (UV) Light Irradiation Device for Hospital Disinfection. *International Journal of Information Communication Technologies and Human Development*. 2022 [цитовано 9 лют. 2026]. Nov 18;14(1):1-24. <http://dx.doi.org/10.4018/ijcthd.313978>.
50. Mugiharto L, Sudiarto A, Simbolon L, Suparlan S, Pasadena W. UV-C Technology to Support Air Quality For Safety Work and Security From Biological Agent Threats. *Elkawanie*. 2022 [цитовано 9 лют. 2026]. Jun 30;8(1):161. <http://dx.doi.org/10.22373/ekw.v8i1.12028>.
51. Cherrie JW, Cherrie MPC. Workplace exposure to UV radiation and strategies to minimize cancer risk. *British Medical Bulletin*. 2022 [цитовано 10 лют. 2026]. Aug 17;144(1):45-56. <http://dx.doi.org/10.1093/bmb/ldac019>.
52. Patel V, Chesmore A, Legner CM, Pandey S. Trends in Workplace Wearable Technologies and Connected-Worker Solutions for Next-Generation Occupational Safety, Health, and Productivity. *Advanced Intelligent Systems*. 2021 [цитовано 10 лют. 2026]. Sep 23;4(1). <http://dx.doi.org/10.1002/aisy.202100099>.
53. Palanisamy Y, Kadirvel V, Ganesan ND. Recent technological advances in food packaging: sensors, automation, and application. *Sustainable Food Technology*. 2025 [цитовано 10 лют. 2026]. 3(1):161-80. <http://dx.doi.org/10.1039/d4fb00296b>.
54. Henning A, J. Downs N, Vanos JK. Wearable ultraviolet radiation sensors for research and personal use. *International Journal of Biometeorology*. 2021 [цитовано 10 лют. 2026]. Nov 7;66(3):627-40. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-021-02216-8>.

References

1. Snyder AB, Martin N, Wiedmann M. Microbial food spoilage: impact, causative agents and control strategies. *Nature Reviews Microbiology*. 2024 [дата звернення 20 січ. 2026]; Apr 3;22(9):528-42. <http://dx.doi.org/10.1038/s41579-024-01037-x>.
2. Grace D. Burden of foodborne disease in low-income and middle-income countries and opportunities for scaling food safety interventions. *Food Security*. 2023 [дата звернення 20 січ. 2026]; Sep 5;15(6):1475-88. <http://dx.doi.org/10.1007/s12571-023-01391-3>.
3. Drebot O, Palapa N, Dikhtyar I. Food security is a global problem of humanity and the main factors affecting it. *Agroecological journal*. 2024 [дата звернення 20 січ. 2026]; Jul 18;(3):6-17. <http://dx.doi.org/10.33730/2077-4893.3.2024.311176>.
4. Sorbo A, Pucci E, Nobili C, Taglieri I, Passeri D, Zoani C. Food Safety Assessment: Overview of Metrological Issues and Regulatory Aspects in the European Union. *Separations*. 2022 [дата звернення 20 січ. 2026]; Feb 17;9(2):53. <http://dx.doi.org/10.3390/separations9020053>.
5. Nasirkhodjaeva D, Yatsenko O, Topildiev S, Bibla I. *Global Food Security: Condition, Problems and Areas of Provision*. Міжнародна економічна політика. 2022 [дата звернення 20 січ. 2026]; Dec 1;(37):7-37. <http://dx.doi.org/10.33111/iep.2022.37.01>.
6. Priss O. The Development of the World Economy and the Impact of the Global Food Crisis 2022-2023. *Economic Affairs*. 2023 [дата звернення 20 січ. 2026]; Feb 12;68(1s). <http://dx.doi.org/10.46852/0424-2513.1s.2023.5>.
7. Gupta AK, Chaudhary A. Food poisoning: causes, its effects and control. *INWASCON Technology Magazine*. 2022 [дата звернення 21 січ. 2026]; 4:59-61. <http://dx.doi.org/10.26480/itechmag.04.2022.59.61>.
8. Adeyeye SAO, Ashaolu TJ, Babu AS. Food Drying: A Review. *Agricultural Reviews*. 2022 [дата звернення 21 січ. 2026]; Jul 30;(Of). <http://dx.doi.org/10.18805/ag.r-2537>.
9. Deak T, Mohácsi-Farkas C. Thermal Treatment. *Food Safety Management*. 2023 [дата звернення 20 січ. 2026]; 405-19. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-820013-1.00008-5>.
10. Azizi-Lalabadi M, Moghaddam NR, Jafari SM. Pasteurization in the food industry. *Thermal*

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

- Processing of Food Products by Steam and Hot Water. 2023 [дата звернення 20 січ. 2026]; 247–73. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-818616-9.00009-2>.
11. Dash KK, Fayaz U, Dar AH, Shams R, Manzoor S, Sundarsingh A, et al. A comprehensive review on heat treatments and related impact on the quality and microbial safety of milk and milk-based products. *Food Chemistry Advances*. 2022 [дата звернення 20 січ. 2026]; Oct;1:100041. <http://dx.doi.org/10.1016/j.focha.2022.100041>.
 12. Deak T, Mohácsi-Farkas C. Thermal Treatment. *Food Safety Management*. 2023 [дата звернення 20 січ. 2026]; 405–19. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-820013-1.00008-5>.
 13. Titikshya S, Sahoo M, Kumar V, Naik SN. Microbial Inactivation with Heat Treatments. *Thermal Food Engineering Operations*. 2022 [дата звернення 20 січ. 2026]; Mar 28;45–74. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119776437.ch2>.
 14. Galanakis CM. The Future of Food. *Foods*. 2024 [дата звернення 20 січ. 2026]; Feb 6;13(4):506. <http://dx.doi.org/10.3390/foods13040506>.
 15. Li M, Zhou C, Wang B, Zeng S, Mu R, Li G, et al. Research progress and application of ultrasonic- and microwave-assisted food processing technology. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2023 [дата звернення 21 січ. 2026]; Jun 22;22(5):3707–31. <http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.13198>.
 16. Onyeaka H, Miri T, Hart A, Anumudu C, Nwabor OF. Application of Ultrasound Technology in Food Processing with emphasis on bacterial spores. *Food Reviews International*. 2021 [дата звернення 20 січ. 2026]; Dec 6;39(7):3663–75. <http://dx.doi.org/10.1080/87559129.2021.2013255>.
 17. Saulais L, Corcuff R, Boonefaes E. Natural and healthy? Consumers knowledge, understanding and preferences regarding naturalness and healthiness of processed foods. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2023 [дата звернення 20 січ. 2026]; Mar;31:100662. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100662>.
 18. Talib A, Samad A, Hossain MJ, Muazzam A, Anwar B, Atique R, et al. Modern trends and techniques for food preservation. *Food and Life*. 2024 [дата звернення 21 січ. 2026]; Mar 30;2024(1):19–32. <http://dx.doi.org/10.5851/fl.2024.e6>.
 19. Kumar S, Mukherjee A, Mitra A, Halder D. *Emerging Technologies in Food Preservation*. CRC Press; 2023 [дата звернення 21 січ. 2026]. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003147978>.
 20. Osypova L, Zhmud A, & Kovalenko L. (2025). Use of innovative approaches to preserve the nutritional value of products during heat treatment. *Innovations and Technologies in the Service Sphere and Food Industr.* 2025 [дата звернення 20 січ. 2026]; Feb 19;(1(15)):27–32. [http://dx.doi.org/10.32782/2708-4949.1\(15\).2025.5](http://dx.doi.org/10.32782/2708-4949.1(15).2025.5).
 21. Lisboa HM, Pasquali MB, dos Anjos AI, Sarinho AM, de Melo ED, Andrade R, et al. Innovative and Sustainable Food Preservation Techniques: Enhancing Food Quality, Safety, and Environmental Sustainability. *Sustainability*. 2024 [дата звернення 21 січ. 2026]; Sep 21;16(18):8223. <http://dx.doi.org/10.3390/su16188223>.
 22. Biasin M, Strizzi S, Bianco A, Macchi A, Utyro O, Pareschi G, et al. UV and violet light can Neutralize SARS-CoV-2 Infectivity. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 2022 [дата звернення 22 січ. 2026]; Jun;10:100107. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpap.2021.100107>.
 23. Guerrero S, Schenk M, Fenoglio D, Andreone A, Kozono ML. Ultraviolet light for food and beverage preservation: exploring the latest advancements and potential challenges ahead. *Innovative Food Packaging and Processing Technologies*. 2025 [дата звернення 22 січ. 2026]; 45–107. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-323-91742-1.00014-3>.
 24. Guerrero SN, Ferrario M, Schenk M, Fenoglio D, Andreone A. Ultraviolet Light. *Electromagnetic Technologies in Food Science*. 2021 [дата звернення 20 січ. 2026]; Nov 18;128–80. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119759522.ch6>.
 25. Wang J, Chen J, Sun Y, He J, Zhou C, Xia Q, et al. Ultraviolet-radiation technology for preservation of meat and meat products: Recent advances and future trends. *Food Control*. 2023 [дата звернення 22 січ. 2026]; Jun;148:109684. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109684>.
 26. Tchoukouang RD, Lima AR, Quintino AC, Cristofoli NL, Vieira MC. UV-C Light: A Promising Preservation Technology for Vegetable-Based Nonsolid Food Products. *Foods*. 2023 [дата звернення 20 січ. 2026]; Aug 27;12(17):3227. <http://dx.doi.org/10.3390/foods12173227>.
 27. Pandiselvam R, Barut Gök S, Yüksel AN, Tekgül Y, Çalışkan Koç G, Kothakota A. Evaluation of the impact of UV radiation on rheological and textural properties of food. *Journal of Texture Studies*. 2022 [дата звернення 22 січ. 2026]; Mar 10;53(6):800–8. <http://dx.doi.org/10.1111/jtxs.12670>.
 28. Rajasekaran B, Murugan G, Venkatachalam K. Impact of UV Irradiation on the Color Profile of Food. *Non-Thermal Food Processing Technologies*. 2024 [дата звернення 22 січ. 2026]; Aug 13;201–21. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003486916-8>.
 29. Sardar NR. Ultraviolet light food processing: A mini concept. *Emergent Life Sciences Research*. 2023 [дата звернення 22 січ. 2026]; 09(01):49–53. <http://dx.doi.org/10.31783/elsr.2023.914953>.
 30. Semenov AO, Popov SV, Sahnó TV, Tarasenko DS. *Ultraviolet: sfery vykorystannja ta dzherela vuprominjuvannja. Monografija*. Poltava: PP «Astraja»; 2023 [дата звернення 20 січ. 2026]. 190.

Розділ 1. Природничі науки в медицині
 Section 1. Natural sciences in medicine

31. Chiozzi V, Agriopoulou S, Varzakas T. Advances, Applications, and Comparison of Thermal (Pasteurization, Sterilization, and Aseptic Packaging) against Non-Thermal (Ultrasounds, UV Radiation, Ozonation, High Hydrostatic Pressure) Technologies in Food Processing. *Applied Sciences*. 2022 [дата звернення 20 січ. 2026]; Feb 20;12(4):2202. <http://dx.doi.org/10.3390/app12042202>.
32. Yemmireddy V, Adhikari A, Moreira J. Effect of ultraviolet light treatment on microbiological safety and quality of fresh produce: An overview. *Frontiers in Nutrition*. 2022 [дата звернення 22 січ. 2026]; Jul 22;9. <http://dx.doi.org/10.3389/fnut.2022.871243>.
33. Leonov YuI, Vergolyas MR, et al. Ways of improving the method of using UV radiation for disinfecting drinking water (literature review). *Ukrainian Journal of Occupational Health*. 2023 [дата звернення 22 січ. 2026]; Jun 30;2023(2):151–60. <http://dx.doi.org/10.33573/ujoh2023.02.151>.
34. Salazar F, Pizarro-Oteiza S, Kasahara I, Labbé M. Effect of ultraviolet light-emitting diode processing on fruit and vegetable-based liquid foods: A review. *Frontiers in Nutrition*. 2022 [дата звернення 22 січ. 2026]; Nov 29;9. <http://dx.doi.org/10.3389/fnut.2022.1020886>.
35. Salazar-Zúñiga MN, Lugo-Cervantes E, Rodríguez-Campos J, Sanchez-Vega R, Rodríguez-Roque MJ, Valdivia-Nájar CG. Pulsed Light Processing in the Preservation of Juices and Fresh-Cut Fruits: A Review. *Food and Bioprocess Technology*. 2022 [дата звернення 22 січ. 2026]; Aug 15;16(3):510–25. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-022-02891-4>.
36. Sunil CK, Goyal MR, Birwal P, Mahendran R. Nonthermal Light-Based Technologies in Food Processing. Apple Academic Press; 2024 [дата звернення 22 січ. 2026]. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003503743>.
37. Nguyen T, Palmer J, Loo T, Shilton A, Petcu M, Newson HL, et al. Investigation of UV light treatment (254 nm) on the reduction of aflatoxin M1 in skim milk and degradation products after treatment. *Food Chemistry*. 2022 [дата звернення 22 січ. 2026]; Oct;390:133165. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133165>.
38. Hales BR, Walsh MK, Bastarrachea LJ. Synergistic effect of high intensity ultrasound, UV-A light, and natural preservatives on microbial inactivation in milk. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2022 [дата звернення 22 січ. 2026]; Jan 27;46(3). <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.16392>
39. Darré M, Vicente AR, Cisneros-Zevallos L, Artés-Hernández F. Postharvest Ultraviolet Radiation in Fruit and Vegetables: Applications and Factors Modulating Its Efficacy on Bioactive Compounds and Microbial Growth. *Foods*. 2022 [дата звернення 22 січ. 2026]; Feb 23;11(5):653. <http://dx.doi.org/10.3390/foods11050653>.
40. Lisboa HM, Pasquali MB, dos Anjos AI, Sarinho AM, de Melo ED, Andrade R, et al. Innovative and Sustainable Food Preservation Techniques: Enhancing Food Quality, Safety, and Environmental Sustainability. *Sustainability*. 2024 [дата звернення 22 січ. 2026]; Sep 21;16(18):8223. <http://dx.doi.org/10.3390/su16188223>.
41. Singh C, Joshi NU, Kumar R, Neha, Kumar A. Ultraviolet Rays in Food Processing. *Nonthermal Food Engineering Operations*. 2024 [дата звернення 22 січ. 2026]; May 23;435–85. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119776468.ch13>.
42. Pihen C, Paris MJ, López-Malo A, Ramírez-Corona N. Microbial Food Safety Through Emerging Technologies Based on Ultraviolet Light for Liquid Food Processing. *Contributions of Chemical Engineering to Sustainability*. 2024 [дата звернення 22 січ. 2026]; 21–70. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-55594-7_2.
43. Rabbani A, Ayyash M, D'Costa CDC, Chen G, Xu Y, Kamal-Eldin A. Effect of Heat Pasteurization and Sterilization on Milk Safety, Composition, Sensory Properties, and Nutritional Quality. *Foods*. 2025 [дата звернення 22 січ. 2026]; Apr 14;14(8):1342. <http://dx.doi.org/10.3390/foods14081342>.
44. Liu X, Zhou K, Chen B, Xie Y, Ma Y, Zhou H, et al. Insight into the evolution of textural properties and juiciness of ready-to-eat chicken breasts upon different thermal sterilization: From the perspective of protein degradation. *Journal of Texture Studies*. 2024 [дата звернення 22 січ. 2026]; May 22;55(3). <http://dx.doi.org/10.1111/jtxs.12835>.
45. Wu M, Zhang S, Long R, Mintah BK, Dabbour M, Ma H, et al. Research Progress on the Effects of Thermo-sonication on the Sterilization and Quality of Liquid Foods. *Journal of Food Process Engineering*. 2025 [дата звернення 22 січ. 2026]; Jul;48(7). <http://dx.doi.org/10.1111/jfpe.70189>.
46. Jaiswal M., Debarma M., Makroo H. A., Koutchma T., Srivastava B. Food Preservation Using Ultraviolet Light. In *Emerging Technologies in Food Preservation* (pp. 159-198). CRC Press; 2023 [дата звернення 22 січ. 2026]. <http://dx.doi.org/10.1201/9781003147978>.
47. Hamouda SA, Alshawish NK, Abdalla YK, Ibrahim MK. Ultraviolet Radiation: Health Risks and Benefits. *Saudi Journal of Engineering and Technology*. 2022 [дата звернення 9 лют. 2026]. Nov 18;7(10):533–41. <http://dx.doi.org/10.36348/sjet.2022.v07i10.001>.
48. Görlitz M, Justen L, Rochette PJ, Buonanno M, Welch D, Kleiman NJ, et al. Assessing the safety of new germicidal far-UVC technologies. *Photochemistry and Photobiology*. 2023 [дата звернення 9 лют. 2026]. Nov 6;100(3):501–20. <http://dx.doi.org/10.1111/php.13866>.
49. Matthew UO, Nwanakwaugwu AC, Kazaure JS, Nwamouh UC, Haruna K, Okafor NU, et al. Ultra Violet (UV) Light Irradiation Device for Hospital Disinfection. *International Journal of Information Communication*

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

- Technologies and Human Development. 2022 [дата звернення 9 лют. 2026]. Nov 18;14(1):1-24. <http://dx.doi.org/10.4018/ijicthd.313978>.
50. Mugiharto L, Sudiarso A, Simbolon L, Suparlan S, Pasadena W. UV-C Technology to Support Air Quality For Safety Work and Security From Biological Agent Threats. Elkawnie. 2022 [дата звернення 9 лют. 2026]. Jun 30;8(1):161. <http://dx.doi.org/10.22373/ekw.v8i1.12028>.
51. Cherrie JW, Cherrie MPC. Workplace exposure to UV radiation and strategies to minimize cancer risk. British Medical Bulletin. 2022 [дата звернення 10 лют. 2026]. Aug 17;144(1):45-56. <http://dx.doi.org/10.1093/bmb/ldac019>.
52. Patel V, Chesmore A, Legner CM, Pandey S. Trends in Workplace Wearable Technologies and Connected-Worker Solutions for Next-Generation Occupational Safety, Health, and Productivity. Advanced Intelligent Systems. 2021 [дата звернення 10 лют. 2026]. Sep 23;4(1). <http://dx.doi.org/10.1002/aisy.202100099>.
53. Palanisamy Y, Kadirvel V, Ganesan ND. Recent technological advances in food packaging: sensors, automation, and application. Sustainable Food Technology. 2025 [дата звернення 10 лют. 2026]. 3(1):161-80. <http://dx.doi.org/10.1039/d4fb00296b>.
54. Henning A, J. Downs N, Vanos JK. Wearable ultraviolet radiation sensors for research and personal use. International Journal of Biometeorology. 2021 [дата звернення 10 лют. 2026]. Nov 7;66(3):627-40. <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-021-02216-8>.

©2026

Ірина Баланюк,
Анна-Луїза Бойку,
Анна Нікульча,
Вероніка Яворська



Надійшла до редакції 24 січня 2026р.
Прийнята до друку 26 травня 2026р.
Опубліковано на сайті 17 червня 2026р.

УДК 616-073.755.4

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.3](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.3)

Сцинтиграфія як метод функціональної діагностики в сучасній медицині

Ірина Баланюк

 ID: [0000-0003-1146-4065](https://orcid.org/0000-0003-1146-4065) @: balanyk85@gmail.com

Анна-Луїза Бойку

 ID: [0009-0006-2392-6609](https://orcid.org/0009-0006-2392-6609) @: Boiku.Aнна.med@bsmu.edu.ua

Анна Нікульча

 ID: [0009-0005-2453-2612](https://orcid.org/0009-0005-2453-2612) @: nikylha99.med@bsmu.edu.ua

Вероніка Яворська

 ID: [0009-0004-1334-0650](https://orcid.org/0009-0004-1334-0650) @: yavorska.veronika.med@bsmu.edu.ua

Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна

Ключові слова:

сцинтиграфія,
радіофармацевти,
сцинтилятори,
однофотонна емісійна
комп'ютерна томографія,
позитрон-емісійна томо-
графія,
перфузійна сцинтиграфія
міокарда.

Анотація

Стаття присвячена сцинтиграфії як одному з важливих методів функціональної діагностики в сучасній ядерній медицині. Метою роботи є узагальнення фізичних основ методу, його технічних можливостей, історичного розвитку та основних напрямків клінічного застосування. Сцинтиграфія ґрунтується на використанні радіоактивних ізотопів у складі радіофармацевтичних препаратів, які після введення в організм розподіляються в тканинах відповідно до їхніх фізіологічних і біохімічних властивостей. Під час радіоактивного розпаду радіонукліди випромінюють гамма-кванти, що реєструються сцинтиляційними детекторами гамма-камери. Отримані сигнали перетворюються на зображення, яке відображає функціональний стан органів і систем. Особливе місце серед радіонуклідів посідає технецій-99m, що має оптимальні фізичні характеристики для медичної діагностики.

У статті висвітлено основні етапи становлення сцинтиграфії: від створення перших штучних радіоізотопів і автоматизованих сканерів у середині ХХ століття до розробки гамма-камери та впровадження сучасних томографічних методів, зокрема однофотонної емісійної комп'ютерної томографії та позитронно-емісійної томографії.

Цитувати як:

Баланюк І., Бойку А.-Л., Нікульча А., Яворська В. Сцинтиграфія як метод функціональної діагностики в сучасній медицині. *Природничі, математичні науки та освіта в медицині* 1(4) 2026 31-42.

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.3](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.3)



Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine


Окрему увагу приділено сучасним технологічним рішенням, таким як гібридні системи ОФЕКТ/КТ та ПЕТ/КТ, які поєднують функціональну та анатомічну візуалізацію і значно підвищують точність діагностики.

Проаналізовано основні групи радіофармпрепаратів та їх використання для дослідження різних органів і систем організму. Наведено приклади клінічного застосування сцинтиграфії в кардіології, онкології, ендокринології, нефрології, пульмонології та неврології, що демонструє універсальність методу та його значення для оцінки функціонального стану органів, виявлення патологічних змін і моніторингу лікування. Також розглянуто основні обмеження методу, пов'язані з променевим навантаженням і відносно нижчою просторовою роздільною здатністю порівняно з деякими іншими методами візуалізації.


Отже, подальший розвиток сцинтиграфії пов'язаний із удосконаленням детекторних технологій, створенням нових високоспецифічних радіофармпрепаратів та використанням методів штучного інтелекту для обробки медичних зображень. Це відкриває нові можливості для ранньої діагностики захворювань, розвитку молекулярної візуалізації та впровадження підходів персоналізованої медицини.

Scintigraphy as a method of functional diagnostics in modern medicine


Iryna Balaniuk

 [0000-0003-1146-4065](https://orcid.org/0000-0003-1146-4065) @: balanyk85@gmail.com

Anna-Luiza Boiku

 [0009-0006-2392-6609](https://orcid.org/0009-0006-2392-6609) @: Boiku.Annamed@bsmu.edu.ua

Anna Nikulcha

 [0009-0005-2453-2612](https://orcid.org/0009-0005-2453-2612) @: nikylha99.med@bsmu.edu.ua

Veronika Yavorska

 [0009-0004-1334-0650](https://orcid.org/0009-0004-1334-0650) @: yavorska.veronika.med@bsmu.edu.ua

Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

Keywords:

*scintigraphy,
radioacticals,
scintillators,
single-photon emission
computed tomography,
positron emission tomography,
myocardial perfusion
scintigraphy.*

Abstract

The article is devoted to scintigraphy as one of the important methods of functional diagnostics in modern nuclear medicine. The aim of the work is to generalize the physical foundations of the method, its technical capabilities, historical development and main directions of clinical application. Scintigraphy is based on the use of radioactive isotopes in the composition of radiopharmaceuticals, which after introduction into the body are distributed in tissues according to their physiological and biochemical properties. During radioactive decay, radionuclides emit gamma quanta, which are registered by scintillation detectors of a gamma camera. The received signals are converted into an image that reflects the functional state of organs and systems. Technetium-99m occupies a special place among radionuclides, which has optimal physical characteristics for medical diagnostics.

The article highlights the main stages of the development of scintigraphy: from the creation of the first artificial radioisotopes and automated scanners in the mid-20th century to the development of the gamma camera and the introduction of modern tomographic methods, in particular single-photon emission computed tomography and positron emission tomography.

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

Special attention is paid to modern technological solutions, such as hybrid SPECT/CT and PET/CT systems, which combine functional and anatomical visualization and significantly increase the accuracy of diagnostics. The main groups of radiopharmaceuticals and their use for the study of various organs and body systems are analyzed. Examples of clinical application of scintigraphy in cardiology, oncology, endocrinology, nephrology, pulmonology and neurology are given, which demonstrates the versatility of the method and its importance for assessing the functional state of organs, detecting pathological changes and monitoring treatment. The main limitations of the method, related to radiation exposure and relatively lower spatial resolution compared to some other imaging methods, are also considered.

Therefore, the further development of scintigraphy is associated with the improvement of detector technologies, the creation of new highly specific radiopharmaceuticals, and the use of artificial intelligence methods for medical image processing. This opens up new opportunities for early diagnosis of diseases, the development of molecular imaging, and the implementation of personalized medicine approaches.

Зміст

Вступ	34
Основна частина	34
Висновки	40
Список використаних джерел	41

Перелік скорочень:

- КТ - комп'ютерна томографія
ОФЕКТ - однофотонна емісійна КТ
ПЕТ - позитрон-емісійна томографія
CZT - Cadmium-Zink Telluride (потрійний твердий розчин телурид кадмію-ртуті)
NaI(Tl) - йодид натрію, легований талієм
МРТ - магнітно-резонансна томографія
технецій-99m + транспортні речовини, які доставляють ізотоп («мітку») до тканин:
-MDP - Метилендифосфонат (MDP/МДФ) зв'язується з кістковою тканиною.
-MAG3 - меркаптоацетилтригліцин - швидко виводиться нирками
-DMSA - димеркаптобурштинова кислота - для статичної сцинтиграфії нирок
-МАА - макроагрегований альбумін - мікроскопічні частинки білка
-МІБІ (сестамібі / метоксиізобутилізонітрил)
DOTA-ТОС - DOTA - це хелатний агент (1,4,7,10-тетраазациклододекан-1,4,7,10-тетраоцтова кислота). ТОС - це скорочення від D-Phe-Tyr-Octreotide (D-фенілаланін-тирозин-октреотид).
PSMA - Prostate-Specific Membrane Antigen/ простатичний специфічний мембранний антиген
ПСМ - Перфузійна сцинтиграфія міокарда
ATTR-амілоїдоз - транстиретиновий амілоїдоз
MUGA - MUltiGated Acquisition
ФДГ-ПЕТ/КТ - ПЕТ із фтордезоксиглюкозою (ФДГ)
ПСМА/PSMA - простатоспецифічний мембранний антиген
PRRT - пептидно-рецепторна радіонуклідна терапія
V/Q - співвідношення між вентиляцією (V - надходження повітря) та перфузією (Q - кровотік) у легенях

МІБГ - метайодобензилгуанідин
ДТПА - діетилентріамінпентаоцтова кислота
ТЕЛА - тромбоемболія легеневої артерії
ГМПАО - гексаметилпропіленаміноксим
HIDA - Hepatobiliary Iminodiacetic Acid
BRIDA - Biliary Iminodiacetic Acid
ALARA - as low as reasonably achievable

Вступ

У сучасній медицині методи функціональної діагностики відіграють дедалі важливішу роль у ранньому виявленні патологічних змін, коли анатомічні порушення ще не виражені або мінімальні. Функціональні порушення нерідко передують структурним змінам на роки, що визначає принципову перевагу методів ядерної медицини над суто анатомічними методами візуалізації у певних клінічних ситуаціях [1, 2].

Сцинтиграфія як один з основних методів ядерної медицини базується на введенні в організм радіоактивних фармацевтичних препаратів і реєстрації їхнього розподілу зовнішніми детекторами. На відміну від рентгенологічних методів, які переважно візуалізують анатомічну структуру, сцинтиграфія дозволяє оцінити функціональний стан органів, метаболічні процеси, перфузію тканин та рецепторний статус патологічних вогнищ [2, 3].

Мета роботи - розглянути фізичні основи сцинтиграфії, клас радіофармпрепаратів, що використовуються, технічні аспекти гамма-камер та гібридних систем, історію розвитку методу та його сучасні клінічні застосування в різних галузях медицини для формування комплексного розуміння ролі радіонуклідної діагностики в сучасній медицині та підвищення обізнаності медичних працівників щодо можливостей функціональних методів візуалізації.

Основна частина

Фізичні основи методу

Сцинтиграфія базується на фундаментальних принципах ядерної фізики та взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною [1]. В основі методу лежить використання радіоактивних ізотопів, які

Сучасна ядерна медицина пройшла тривалий шлях еволюції від примітивних лічильних пристроїв до складних гібридних систем ОФЕКТ/КТ та ПЕТ/КТ, здатних інтегрувати функціональну та структурну інформацію в єдиному дослідженні. Розробка нових радіофармпрепаратів – від органоспецифічних сполук технецію-99m до таргетних лігандів рецепторів та терапевтичних агентів – відкрила нові горизонти персоналізованої медицини [4, 5, 6].

Актуальність даної теми зумовлена зростаючою кількістю досліджень із застосуванням методів ядерної медицини у всьому світі та недостатньою обізнаністю медичних фахівців різних спеціальностей щодо можливостей та обмежень радіонуклідних методів діагностики. Розуміння фізичних принципів, технічних особливостей та клінічних показань до сцинтиграфії є важливою передумовою раціонального використання цього потужного діагностичного інструменту [7, 8].

вводяться в організм у складі радіофармпрепаратів і розподіляються в органах та тканинах залежно від їх фізіологічних та метаболічних властивостей. Розпадаючись, радіонукліди випромінюють гам-

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

ма-кванти, що реєструються зовнішніми детекторами і слугують основою для побудови діагностичного зображення [1, 9].

Найпоширенішим радіонуклідом у діагностичних цілях є технецій-99m завдяки його оптимальній енергії гамма-випромінювання (140 кеВ), короткому періоду напіврозпаду (6 годин) та здатності утворювати різноманітні радіофармпрепарати для візуалізації практично всіх органів і систем організму [2, 5]. Ізомерний перехід з технецію-99m до технецію-99 супроводжується виключно гамма-випромінюванням без β -частинок, що мінімізує поглинену дозу тканинами та робить ізотоп ідеальним для діагностики [1, 10].

Процес детекції випромінювання здійснюється за допомогою сцинтиляційних кристалів, найчастіше йодиду натрію, активованого талієм NaI(Tl).

Гамма-квант, потрапляючи в кристал, спричиняє короткочасне світіння

– сцинтиляцію, інтенсивність якої пропорційна енергії фотона [1]. Це світло за допомогою фотопомножувачів перетворюється на електричний сигнал, що обробляється комп'ютерною системою. Колімація випромінювання дозволяє визначити напрямок приходу гамма-квантів і сформуванати просторове зображення розподілу радіофармпрепарату [2].

Енергетична роздільна здатність детекторної системи має принципове значення для якості зображення. Типова роздільна здатність NaI(Tl)-детекторів становить близько 10% для енергії 140 кеВ, що дозволяє ефективно відокремлювати первинне випромінювання від розсіяного [9]. Напівпровідникові детектори на основі кадмій-цинк-телуриду (CZT) забезпечують значно кращу енергетичну роздільну здатність (3–5%) і поступово впроваджуються в сучасні гамма-камери [1, 15].

Історичний розвиток методу

Витоки ядерної медицини сягають 1930-х років, коли Ернестом Лоуренсом було винайдено циклотрон, що дозволив синтезувати штучні радіоізотопи [3]. Перші діагностичні застосування радіоактивних ізотопів відносяться до 1940-х років, коли радіоактивний йод-131 був застосований для дослідження функції щитоподібної залози. Проте практичне клінічне використання сцинтиграфічних методів розпочалося у 1950-х роках.

Революційним досягненням стало створення у 1950 році Бенедиктом Касеном першого автоматизованого реклінеарного сканера – пристрою, що здійснював послідовне сканування досліджуваної ділянки тіла й реєстрував розподіл радіоактивності у вигляді двовимірного зображення [3]. Попри обмежену просторову роздільну здатність та значний час дослідження, цей пристрій заклав основи сучасної сцинтиграфії.

Справжньою революцією стало ви-

найдення у 1957 році Хелом Агером (Hal Anger) гамма-камери - пристрою, що дозволяв одночасно реєструвати гамма-випромінювання від усієї досліджуваної ділянки. Камера Агера стала прообразом усіх сучасних гамма-камер і принципово не змінила своєї архітектури до сьогодні, хоча технічні характеристики покращилися багаторазово [3, 11].

У 1970-х роках вдосконалення електроніки та розвиток комп'ютерних технологій призвели до появи томографічних методів ядерної медицини. ОФЕКТ забезпечила тривимірну реконструкцію розподілу радіофармпрепарату, значно підвищивши просторову роздільну здатність та контрастність зображень [2, 3].

Паралельно розвивався метод ПЕТ, що базується на реєстрації двох протилежно спрямованих фотонів анігіляційного випромінювання з енергією по 511 кеВ кожен [4]. Поєднання ПЕТ з комп'ютерною томографією у гібридних систе-

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

мах ПЕТ/КТ на початку 2000-х років стало справжнім проривом в онкологічній діагностиці, дозволивши одночасно оцінювати метаболічні та анатомічні характеристики пухлин [4, 10, 12].

Сучасним досягненням є інтеграція

ПЕТ з магнітно-резонансною томографією у системах ПЕТ/МРТ, що поєднує метаболічну та анатомічну інформацію з чудовою м'якотканинною контрастністю МРТ при відсутності додаткового іонізуючого випромінювання від КТ-компоненти [12, 14].

Технічні аспекти сучасної сцинтиграфії

Сучасні гамма-камери являють собою складні технічні комплекси з великоформатними детекторами (зазвичай діаметром 38–59 см), багатоканальними коліматорами різних типів, потужними процесорами обробки зображень та спеціалізованим програмним забезпеченням [1, 2]. Більшість клінічних систем оснащені двома детекторними головами, що дозволяє проводити дослідження з двох протилежних або перпендикулярних проєкцій одночасно.

Коліматор є ключовим елементом гамма-камери, що визначає просторову роздільну здатність та чутливість системи. Паралельноканальні коліматори низькоенергетичного діапазону забезпечують оптимальні характеристики для досліджень з технецієм-99m, тоді як коліматори середньоенергетичного та високоенергетичного діапазонів застосовуються для радіонуклідів з вищою енергією гамма-випромінювання [1, 9].

Планарна сцинтиграфія дозво-

ляє отримувати двовимірні проєкційні зображення в різних стандартних проєкціях, тоді як ОФЕКТ забезпечує тривимірну реконструкцію просторового розподілу радіоактивності з можливістю аналізу довільних зрізів [2]. Сучасні алгоритми реконструкції ОФЕКТ включають методи ітеративного відновлення зображень з корекцією поглинання, розсіювання та рухових артефактів.

Гібридні системи ОФЕКТ/КТ поєднують переваги функціональної візуалізації та точної анатомічної локалізації. Вбудована КТ-компонента виконує подвійну функцію: слугує для атенуаційної корекції сцинтиграфічних даних і забезпечує анатомічну карту для точної локалізації вогнищ накопичення радіофармпрепарату [7, 10]. Сучасні системи ПЕТ/КТ поєднують 64- та 128-зрізові КТ з високочутливими ПЕТ-детекторами, забезпечуючи просторову роздільну здатність ПЕТ близько 4–6 мм [4, 12].

Радіофармпрепарати та їх застосування

Радіофармпрепарат – це стерильний, апірогенний радіоактивний лікарський засіб, призначений для введення в організм людини з діагностичною або терапевтичною метою. Вибір радіофармпрепарату визначається метою дослідження та біологічними характеристиками досліджуваного органу чи патологічного процесу [2, 5]. Будь-який радіофармпрепарат складається з двох основних компонентів: радіонукліда, що слугує джерелом гамма-випромінювання та хімічної молекули-носія, що визначає специфічність розподілу в організмі.

Технецій-99m є ключовим радіонуклідом у ядерній медицині і входить до складу радіофармпрепаратів для досліджень кісток (технецій-99m-MDP), нирок (технецій-99m-MAG3, DMSA), міокарда (технецій-99m-сестамібі, тетрофосмін), легень (технецій-99m-ММА), печінки (технецій-99m-колоїд), мозку та ін. [5]. Генератори молібден-99/технецій-99m, що регулярно поповнюються, забезпечують надійне постачання ізотопу в ядерно-медичні підрозділи без необхідності наявності прискорювача частинок [2].

Радіоактивний йод-123 та йод-131

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

застосовуються для досліджень щитоподібної залози: йод-123 завдяки кращим дозиметричним характеристикам переважно використовується для діагностичної сцинтиграфії, тоді як йод-131 – для терапії диференційованого раку щитоподібної залози та токсичного зоба [5, 16].

Позитрон-випромінюючі радіонукліди для ПЕТ включають фтор-18, вуглець-11, азот-13 та кисень-15, що потребують наявності циклотрона поблизу клініки через короткі періоди напіврозпаду [4]. Галій-68, отримуваний із генератора германій-68/галій-68, дозволяє проводити ПЕТ-дослідження без власного циклотрона та застосовується для лабелю-

вання пептидів (наприклад, DOTA-ТОС для нейроендокринних пухлин) [6, 17].

Перспективним напрямком є розробка специфічних лігандів для молекулярної візуалізації – радіомічених антитіл, пептидів, аптамерів та малих молекул, що зв'язуються з конкретними рецепторами або молекулярними маркерами патологічних процесів [6, 7]. Радіофармпрепарати на основі лютецію-177 (зокрема, PSMA-617 для раку передміхурової залози та DOTA-ТОС для нейроендокринних пухлин) застосовуються в теранозі – одночасній діагностиці та таргетній радіонуклідній терапії [6, 18].

Клінічні застосування сцинтиграфії

Кардіологія

ПСМ є важливим методом функціональної оцінки коронарного кровотоку та відіграє ключову роль у діагностиці ішемічної хвороби серця [8]. Метод дозволяє виявляти зони ішемії та рубцевих змін міокарда, оцінювати глобальну та регіональну скоротливість лівого шлуночка, прогнозувати ризик серцево-судинних подій та відбирати пацієнтів для ревазуляризації [8, 19].

Стрес-тест при ПСМ може бути фізичним (навантаження на тредмілі або велоергометрі) або фармакологічним (аденозин, дипіридамом, добутамін). Порівняння перфузійних зображень у спокої та при навантаженні дозволяє виявити обратимі (ішемічні) та необоротні (рубцеві) дефекти перфузії [8]. Сучасні програмні алгоритми з автоматичним підрахунком кількісних індексів значно

стандартизували інтерпретацію ПСМ.

Сцинтиграфія з пірофосфатними препаратами технецію-99m демонструє виняткову діагностичну цінність при транстиретиновому амілоїдозі серця, досягаючи практично 100% специфічності за умови правильного клінічного контексту (відсутність моноклональних білків у крові або сечі та інтенсивне накопичення трейсера ступеня 2–3) [8, 11]. Метод замінив ендоміокардіальну біопсію як золотий стандарт діагностики ATTR-амілоїдозу в більшості клінічних ситуацій.

Радіонуклідна рівноважна вентрикулографія (MUGA) забезпечує надточну оцінку фракції викиду лівого шлуночка та глобальної скоротливості. Метод традиційно використовується для моніторингу кардіотоксичності антрациклінів та інших хіміотерапевтичних агентів [5].

Онкологія

ФДГ-ПЕТ/КТ посідає центральне місце в онкологічній діагностиці завдяки здатності виявляти метаболічно активні злоякісні вогнища в будь-якій ділянці тіла. Метод широко застосовується для первинного стадіювання злоякісних

пухлин, оцінки відповіді на хіміотерапію, виявлення рецидивів та діагностики паранеопластичного синдрому [7, 20].

Сцинтиграфія кісток із технецієм-99m-МДФ залишається широко застосовуваним методом скринінгу ме-

тастатичного ураження скелета при раку молочної залози, передміхурової залози, легені та нирок. Проте у деяких пухлинах, зокрема при мієломній хворобі, метод демонструє обмежену чутливість близько 66% через мінімальну остеобластичну реакцію [7, 9, 12]. У таких клінічних ситуаціях МРТ та ПЕТ/КТ з ФДГ або галій-68-ПСМА забезпечують значно кращу діагностичну точність [21].

Сцинтиграфія сторожових лімфатичних вузлів із колоїдним технецієм-99m є стандартним методом передопераційного картування та інтраоперацій-

Ендокринологія

Сцинтиграфія щитоподібної залози з технецієм-99m-пертехнетатом або йодом-123 дозволяє оцінити розміри, форму та функціональний стан залози, виявити «гарячі» (гіперфункціонуючі) та «холодні» (гіпофункціонуючі) вузли, а також залишкову тиреоїдну тканину після тиреоїдектомії [5, 16]. Тотальна сцинтиграфія тіла з йодом-131 після тиреоїдектомії є стандартним методом виявлення метастазів диференційованого раку щитоподібної залози.

Сцинтиграфія паращитоподібних залоз із технецієм-99m-МІБІ (сестамібі) в поєднанні з відстрошеною візуалізацією дозволяє локалізувати аде-

Нефрологія та урологія

Динамічна нефросцинтиграфія з технецієм-99m-МАГЗ або ДТПА забезпечує роздільну оцінку функції кожної нирки (відносна функція), оцінку ниркового кровотоку, клубочкової фільтрації та тубулярної секреції, а також виявлення обструкції сечовивідних шляхів за допомогою діуретичної нефросцинтиграфії [2, 5]. Метод є незамінним для пренатально виявленого гідронефрозу та диференційної діагностики обструктивних і необструктивних дилатацій.

ного виявлення сторожового вузла при раку молочної залози та меланомі. Метод дозволяє уникнути повної лімфодисекції у більшості пацієнтів зі своєчасно виявленими пухлинами [5, 22].

Рецепторна сцинтиграфія соматостатину (октреотид-сцинтиграфія або галій-68-DOТА-пептидне ПЕТ/КТ) є методом вибору для виявлення та стадіювання нейроендокринних пухлин, що надекспресують рецептори соматостатину [17, 23]. Метод також застосовується для відбору пацієнтів для PRRT лютецієм-177.

номи паращитоподібних залоз при первинному гіперпаратиреозі. Метод замінив інвазивні ангіографічні дослідження як передопераційну підготовку і значно полегшив мінімально інвазивну паратиреоїдектомію [5, 24].

Сцинтиграфія з метайодобензилгуанідином (МІБГ), міченим йодом-123 або йодом-131, є методом вибору для виявлення феохромоцитом, парагангліом та нейробластом. МІБГ накопичується в хромафінних клітинах через механізм захоплення катехоламінів і дозволяє виявляти як первинну пухлину, так і метастатичні вогнища в єдиному дослідженні [5].

Статична нефросцинтиграфія з технецієм-99m-ДМСА є методом вибору для виявлення паренхіматозних рубців після пієлонефриту у дітей та дорослих. Чутливість методу у виявленні кортикальних дефектів значно перевищує чутливість ультразвукового дослідження [5, 25].

Непряма радіонуклідна цистографія є безпечним і низькодозовим методом діагностики везико-уретерального рефлюксу у дітей, що дозволяє монітувати рефлюкс у динаміці з мінімальним опроміненням [5].

Пульмонологія

Вентиляційно-перфузійна (V/Q) сцинтиграфія легень залишається важливим методом діагностики ТЕЛА, особливо у вагітних та пацієнтів з протипоказаннями до КТ-ангіографії (алергія на контраст, ниркова недостатність) [2, 5]. Метод базується на порівнянні перфузії (технецій-99m-МАО) та вентиля-

ції (ксенон-133 або технецій-99m-ДТ-ПА-аерозоль) легневих сегментів.

Сучасні протоколи V/Q ОФЕКТ/КТ підвищили діагностичну точність методу при ТЕЛА та значно розширили диференційно-діагностичні можливості порівняно з планарною сцинтиграфією [26].

Неврологія

Перфузійна ОФЕКТ головного мозку з гексаметилпропіленаміноксिमом технецію-99m (ГМПАО) або ДМПАО дозволяє оцінити регіональний мозковий кровотік і застосовується для діагностики ранніх стадій нейродегенеративних захворювань, диференційної діагностики деменцій, виявлення вогнищ гіперперфузії при епілепсії та оцінки мозкової смерті [2].

Сцинтиграфія з лігандами дофамінових транспортерів (DaTSCAN – йод-123-і-офлупан) є методом вибору для диференційної діагностики паркінсонізму та есенційного тремору. Метод виявляє

зменшення щільності дофамінових транспортерів у стріатумі при хворобі Паркінсона та деменції з тільцями Леві [6, 27].

ПЕТ із амілоїдними лігандами (флорбетатір, флутометамол, флорбетабен) дозволяє прижиттєво виявляти амілоїдні бляшки в мозку при хворобі Альцгеймера та інших амілоїдопатіях [14, 28]. Метод суттєво трансформує підходи до ранньої діагностики хвороби Альцгеймера та відбору пацієнтів для антиамілоїдної терапії, а також знаходить застосування в гастроентерології та інших галузях медицини.

Гепатобіліарна сцинтиграфія

Гепатобіліарна сцинтиграфія з похідними іміодіацетатної кислоти, міченими технецієм-99m (HIDA, BRIDA), дозволяє оцінити секреторну функцію гепатоцитів та прохідність жовчовивід-

них шляхів, виявити жовчний рефлюкс та холецистит [2, 5]. Метод є незамінним для діагностики жовчного міхура у новонароджених та диференційної діагностики неонатальної жовтяниці.

Сцинтиграфія шлунка

Сцинтиграфія шлунка з радіоміченою їжею використовується для оцінки швидкості евакуації вмісту шлунка при підозрі на гастропарез та пілоростеноз.[5]. Дослідження кишкової кровотечі з міченими еритроцитами або колоїдом технецію-99m дозволяє виявити активну кровотечу при

швидкості не менш як 0,1–0,5 мл/хв.

Сцинтиграфія лейкоцитів, мічених *in vitro* технецієм-99m або індієм-111, застосовується для виявлення вогнищ запалення та інфекції (остеомієліт, абсцеси, запальні захворювання кишечника) [5].

Радіаційна безпека та дозиметрія

Ефективні дози опромінення при сцинтиграфічних дослідженнях суттєво варіюють залежно від типу радіофармпрепарату, введеної активності та протоколу дослідження [1, 6]. Для типових діагностичних досліджень ефективні

дозы становлять: сцинтиграфія кісток – 4-6 мЗв; нефросцинтиграфія – 1-2 мЗв; перфузійна сцинтиграфія міокарда – від 1–3 мЗв (ультрадозові протоколи) до 10–15 мЗв (традиційні протоколи) [6, 8, 13].

Вагітність є відносним протипоказан-

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

ням до більшості сцинтиграфічних досліджень, оскільки радіофармпрепарати можуть накопичуватися у плода та збільшувати дозу опромінення. Винятками є ситуації, де користь для матері перевищує потенційний ризик для плода, наприклад, при діагностиці ТЕЛА [6]. У період лактації рекомендується тимчасово припинити грудне вигодовування відповідно до типу застосованого радіофармпрепарату.

Перспективи розвитку

Подальший розвиток сцинтиграфії пов'язаний з впровадженням напівпровідникових CZT-детекторів нового покоління, що забезпечують значно кращу енергетичну та просторову роздільну здатність порівняно з традиційними NaI(Tl)-кристалами [1, 15]. CZT-камери кардіологічного призначення вже продемонстрували скорочення часу дослідження та можливість зниження доз радіофармпрепаратів при збереженні діагностичної якості.

Штучний інтелект та машинне навчання трансформують ядерну медицину на всіх рівнях - від автоматичної сегментації та кількісного аналізу зображень до прогностичних моделей та підтримки клінічних рішень [7, 29]. Нейронні мережі глибокого навчання застосовуються для відновлення зображень низької дози, зменшення шуму та поліпшення просторової роздільної здатності.

Молекулярна візуалізація за допо-

могою таргетних радіофармпрепаратів відкриває нові можливості для ранньої діагностики захворювань на доклінічних стадіях та персоналізованого лікування [6, 7]. Тераноз - концепція, що передбачає використання одного й того самого молекулярного ліганда як у діагностичному, так і в терапевтичному варіанті (наприклад, ФДГ-ПЕТ для виявлення та PSMA-617-лютецій-177 для лікування раку передміхурової залози) - є перспективним напрямком персоналізованої медицини [6, 18, 30].

Розвиток тотальної ПЕТ (Total-Body PET) із надчутливими детекторними кільцями, що охоплюють усе тіло пацієнта, відкриває можливості для кінетичного моделювання, досліджень із мінімальними дозами та надшвидкісної візуалізації [14]. Поєднання мультимодальної ядерної медицини з рідкою біопсією та геномними даними є основою майбутньої прецизійної онкології.

Розвиток тотальної ПЕТ (Total-Body PET) із надчутливими детекторними кільцями, що охоплюють усе тіло пацієнта, відкриває можливості для кінетичного моделювання, досліджень із мінімальними дозами та надшвидкісної візуалізації [14]. Поєднання мультимодальної ядерної медицини з рідкою біопсією та геномними даними є основою майбутньої прецизійної онкології.

Висновки

Сцинтиграфія є потужним методом функціональної діагностики, що базується на фундаментальних принципах ядерної фізики та забезпечує унікальну інформацію про метаболічні процеси, перфузію тканин та функціональний стан органів і систем організму. Від перших сцинтиляційних сканерів 1950-х років метод еволюціонував до складних гібридних систем ОФЕКТ/КТ та ПЕТ/КТ, що поєднують функціональну та анато-

мічну інформацію в єдиному дослідженні.

Розуміння фізичних основ методу, принципів роботи гамма-камер, властивостей радіофармпрепаратів та клінічних показань є необхідним для медичних працівників різних спеціальностей - від кардіологів та онкологів до нефрологів, неврологів та ендокринологів. Вибір методу візуалізації у конкретній клінічній ситуації повинен базуватися на унікальній патофізіологічній ін-

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

формації, що надає кожна модальність.

Сцинтиграфія демонструє виняткові діагностичні можливості в певних клінічних ситуаціях: практично 100% специфічність при транстиретиновому амілоїдозі серця, ключова роль у діагностиці нейроендокринних пухлин, незамінність при функціональній оцінці нирок та щитоподібної залози. Водночас метод має обмеження в онкологічних ситуаціях, де переважають ПЕТ/КТ та МРТ у виявленні ранніх змін.

Конфлікт інтересів

Автори декларують відсутність фінансових або інших конфліктів інтересів, які могли вплинути на результати, інтерпретацію та висновки дослідження.

Внесок авторів

Всі автори зробили значний внесок у підготовку оригінальної та переглянутої версії цієї статті.

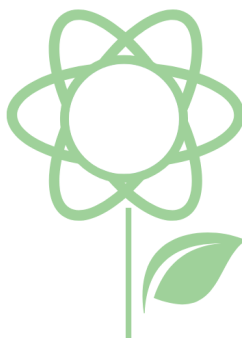
Список використаних джерел

1. Cherry SR, Sorenson JA, Phelps ME. Physics in Nuclear Medicine. 4th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2012. 523 p. https://training.hepi.tsu.ge/Radet/Books/Physics_NuclMed.pdf
2. Ziessman HA, O'Malley JP, Thrall JH. Nuclear Medicine: The Requisites. 4th ed. Philadelphia: Elsevier; 2014. 608 p. <https://www.elsevier.com/books/nuclear-medicine-the-requisites/ziessman/978-0-323-08299-0>
3. Ell PJ, Gambhir SS. Nuclear Medicine in Clinical Diagnosis and Treatment. 3rd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone; 2004. 1896 p. <https://archive.org/details/nuclearmedicinec0000ellp>
4. Bailey DL, Townsend DW, Valk PE, Maisey MN. Positron Emission Tomography: Basic Sciences. London: Springer; 2005. 910 p. <https://link.springer.com/book/10.1007/b138952>
5. Mettler FA Jr, Guiberteau MJ. Essentials of Nuclear Medicine Imaging. 7th ed. Philadelphia: Elsevier; 2019. 544 p. <https://www.elsevier.com/books/essentials-of-nuclear-medicine-imaging/mettler/978-0-323-52470-4>
6. International Atomic Energy Agency. Nuclear Medicine Resources Manual. Vienna: IAEA; 2020. 456 p. <https://www.iaea.org/publications>
7. European Association of Nuclear Medicine. EANM procedural guidelines for PET/CT tumour imaging. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2021;48:1-15. <https://doi.org/10.1007/s00259-020-05209-y>
8. Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. Procedure Guidelines for Myocardial Perfusion Imaging. J Nucl Med Technol. 2020;48(2):95-104. <https://doi.org/10.2967/jnmt.119.236695>
9. Bombardieri E, Aktolun C, Baum RP, et al. Bone Scintigraphy: Procedure Guidelines for Tumour Imaging. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2003;30:99-106. <https://doi.org/10.1007/s00259-003-1347-2>
10. Basu S, Alavi A. Defining co-related parameters between PET and anatomical imaging. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2008;35:1376-1383. <https://doi.org/10.1007/s00259-008-0773-6>
11. Gillmore JD, Maurer MS, Falk RH, et al. Nonbiopsy Diagnosis of Cardiac Transthyretin Amyloidosis. Circulation. 2016;133(24):2404-2412. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.116.021612>
12. Terpos E, Kleber M, Engelhardt M, et al. European Myeloma Network guidelines for multiple myeloma complications. Haematologica. 2015;100(10):1254-1266. <https://doi.org/10.3324/haematol.2014.117176>
13. Einstein AJ, Johnson LL, Bokhari S, et al. Coronary calcium estimation from CT attenuation scans. J Am Coll Cardiol. 2010;56(23):1914-1921. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.05.057>
14. Badawi RD, Shi H, Hu P, et al. First human imaging studies with the EXPLORER total-body PET scanner. J Nucl Med. 2019;60(3):299-303. <https://doi.org/10.2967/jnumed.119.226498>
15. Slomka PJ, Pan T, Berman DS, Germano G. Advances in SPECT and PET hardware. Prog Cardiovasc Dis. 2015;57(6):566-578. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2015.02.002>

Розділ 1. Природничі науки в медицині
Section 1. Natural sciences in medicine

16. Haugen BR, Alexander EK, Bible KC, et al. American Thyroid Association guidelines for thyroid cancer. *Thyroid*. 2016;26(1):1-133. Available from: <https://doi.org/10.1089/thy.2015.0020>
17. Krenning EP, Kwekkeboom DJ, Bakker WH, et al. Somatostatin receptor scintigraphy. *Eur J Nucl Med*. 1993;20(8):716-731. <https://doi.org/10.1007/BF00181765>
18. Sartor O, de Bono J, Chi KN, et al. Lutetium-177-PSMA-617 therapy. *N Engl J Med*. 2021;385:1091-1103. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2107322>
19. Fiechter M, Gebhard C, Fuchs TA, et al. CZT myocardial perfusion imaging. *J Nucl Med*. 2013;54(7):1142-1147. <https://doi.org/10.2967/jnumed.112.116921>
20. Wahl RL, Jacene H, Kasamon Y, Lodge MA. From RECIST to PERCIST. *J Nucl Med*. 2009;50 Suppl 1:122S-150S. <https://doi.org/10.2967/jnumed.108.057307>
21. Zamagni E, Nanni C, Dozza L, et al. FDG-PET/CT in multiple myeloma. *J Clin Oncol*. 2021;39(2):116-125. <https://doi.org/10.1200/JCO.20.00386>
22. Lyman GH, Giuliano AE, Somerfield MR, et al. Sentinel lymph node biopsy guidelines. *J Clin Oncol*. 2005;23(30):7703-7720. <https://doi.org/10.1200/JCO.2005.08.001>
23. Kwekkeboom DJ, de Herder WW, Kam BL, et al. Radiolabeled somatostatin therapy. *J Clin Oncol*. 2008;26(13):2124-2130. <https://doi.org/10.1200/JCO.2007.15.2553>
24. Ruda JM, Hollenbeak CS, Stack BC Jr. Primary hyperparathyroidism review. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2005;132(3):359-372. <https://doi.org/10.1016/j.otohns.2004.10.005>
25. Gordon I, Piepsz A, Sixt R. Renogram guidelines. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2011;38(6):1175-1188. <https://doi.org/10.1007/s00259-011-1811-3>
26. Bajc M, Schümichen C, Grüning T, et al. V/Q SPECT guideline. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2019;46(12):2429-2451. <https://doi.org/10.1007/s00259-019-04450-0>
27. Djang DS, Janssen MJ, Bohnen N, et al. Dopamine transporter imaging guideline. *J Nucl Med*. 2012;53(1):154-163. <https://doi.org/10.2967/jnumed.111.100784>
28. Johnson KA, Minoshima S, Bohnen NI, et al. Amyloid PET criteria. *Alzheimers Dement*. 2013;9(1):e1-e16. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2013.01.002>
29. Litjens G, Kooi T, Bejnordi BE, et al. Deep learning in medical imaging. *Med Image Anal*. 2017;42:60-88. <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005>
30. Herrmann K, Schwaiger M, Lewis JS, et al. Radiotheranostics roadmap. *Lancet Oncol*. 2020;21(3):e146-e156. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(19\)30821-6](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(19)30821-6)

©2026
Volodymyr Fediv,
Dmytro Dombrovskiy,
Maria Ivanchuk,
Olena Olar




Надійшла до редакції 12 травня 2026р.
Прийнята до друку 06 червня 2026р.
Опубліковано на сайті 17 червня 2026р.

УДК 616-073.755.4


DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.4](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.4)

Physical Basis for the Efficacy of Compression Therapy in Klippel–Trenaunay Syndrome


Volodymyr Fediv¹

 [0000-0002-5033-1356](https://orcid.org/0000-0002-5033-1356) @: fediv.volodymyr@bsmu.edu.ua


Dmytro Dombrovskiy^{2,1}

 [0000-0002-2606-3718](https://orcid.org/0000-0002-2606-3718) @: dombrovskiy@hotmail.com

Maria Ivanchuk¹

 [0000-0001-9499-0583](https://orcid.org/0000-0001-9499-0583) @: ivanchuk.m@bsmu.edu.ua

Olena Olar¹

 [0000-0002-2467-6932](https://orcid.org/0000-0002-2467-6932) @: olena.olar@bsmu.edu.ua

¹Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

²Chernivtsi Regional Clinical Hospital, Chernivtsi, Ukraine

Keywords:

chronic venous insufficiency,
Klippel–Trenaunay syndrome,
compression therapy,
hemodynamics,
Laplace's Law

Abstract

Klippel–Trenaunay syndrome (KTS) is a rare congenital disorder characterized by a clinical triad of capillary malformations, varicose veins, and tissue hypertrophy. Given its progressive course and the risk of severe complications, establishing effective conservative management strategies is critical. Although external compression remains the cornerstone of therapy, its clinical efficacy depends fundamentally on a precise understanding of the underlying vascular hemodynamics.

Objective. This study aims to investigate and systematize the physical principles governing venous function in both physiological and pathological states, providing a mechanistic rationale for compression therapy in patients with KTS.

Results. Hemodynamic processes were analyzed through the framework of fundamental physical principles, specifically the laws of Pascal, Torricelli, Bernoulli, and Poiseuille. The paper examines the functional role of the calf muscle pump as a «peripheral heart» alongside the pathophysiological mechanisms driving venous hypertension in KTS. It also emphasizes the clinical application of Laplace's law to determine sub-bandage pressure as a function of material tension, layering techniques, and the anatomical contour of the limb. Furthermore, we demonstrate the necessity of tailoring

Цитувати як:

Fediv V., Dombrovskiy D., Ivanchuk M., Olar O. Physical Basis for the Efficacy of Compression Therapy in Klippel–Trenaunay Syndrome. *Natural & Mathematical Sciences in Medicine and Medical Education* 1(4) 2026 43-53.

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.4](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.1.4)




compression parameters to address KTS-specific anomalies, such as tissue hypertrophy and venous malformations.


Conclusion. The study proposes a comprehensive perspective on compression therapy, framing it not merely as a clinical procedure but as a controlled biophysical process capable of significantly improving the quality of life for patients with rare vascular disorders.

Фізичні основи ефективності компресійної терапії при синдромі Кліппеля-Треноне


Володимир Федів¹

 [0000-0002-5033-1356](https://orcid.org/0000-0002-5033-1356) @: fediv.volodymyr@bsmu.edu.ua


Дмитро Домбровський^{2,1}

 [0000-0002-2606-3718](https://orcid.org/0000-0002-2606-3718) @: dombrovsky@hotmail.com

Марія Іванчук¹

 [0000-0001-9499-0583](https://orcid.org/0000-0001-9499-0583) @: ivanchuk.m@bsmu.edu.ua

Олена Олар¹

 [0000-0002-2467-6932](https://orcid.org/0000-0002-2467-6932) @: olena.olar@bsmu.edu.ua

¹Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна

²ОКНП «Чернівецька обласна клінічна лікарня», Чернівці, Україна

Ключові слова:

хронічна венозна недостатність, синдром Кліппеля-Треноне, компресійна терапія, гемодинаміка, закон Лапласа.

Анотація

Вступ. Синдром Кліппеля-Треноне (СКТ) є рідкісною вродженою патологією, що характеризується тріадою симптомів: капілярними мальформаціями, варикозним розширенням вен та гіпертрофією тканин. Через прогресуючий перебіг та ризик важких ускладнень пошук ефективних методів консервативного лікування є критично важливим. Основним інструментом терапії залишається зовнішня компресія, проте її ефективність безпосередньо залежить від розуміння фізичних процесів у судинному руслі.

Мета роботи. Дослідити та систематизувати фізичні принципи функціонування венозної системи в нормі та при патології, а також обґрунтувати механізми дії компресійної терапії при СКТ.

Основні результати. У роботі проаналізовано гемодинамічні процеси крізь призму фундаментальних законів фізики: Паскаля, Торрічеллі, Бернуллі та Пуазейля. Розглянуто роль м'язової помпи гомілки як «другого серця» та механізми формування венозної гіпертензії при СКТ. Особливу увагу приділено практичному застосуванню закону Лапласа для розрахунку ефективного тиску під компресійною пов'язкою залежно від натягу матеріалу, кількості шарів бинтування та анатомічних особливостей кінцівки. Обґрунтовано необхідність індивідуального підбору параметрів компресії для компенсації специфічних для СКТ аномалій, таких як гіпертрофія тканин та венозні мальформації. Пропонується комплексний погляд на компресійну терапію не лише як на медичну маніпуляцію, а як на керований фізичний процес, що дозволяє суттєво покращити якість життя пацієнтів із рідкісними судинними захворюваннями.

Contents

Introduction	45
Physical Foundations of a Healthy Venous System	46
Physical Manifestations of Venous Pathologies	48
Compression Therapy in KTS	50
Conclusion	52
References	53

Abbreviations

KTS - Klippel-Trenaunay Syndrome

Introduction

Klippel-Trenaunay syndrome (KTS) is a rare congenital malformation characterized by capillary and venous malformations, along with soft tissue and bone overgrowth, with or without lymphatic involvement. The primary clinical manifestations include cutaneous stains, varicose veins, and tissue hypertrophy [1]. Although numerous case reports are available to date, literature addressing the true incidence and prevalence of the disease remains scarce [2]. Overall, the estimated incidence ranges from 2 to 5 cases per 100,000 individuals, presenting an equal distribution between both sexes [3]. The condition demonstrates no distinct racial or gender predilection [4]. Diagnostic confirmation requires further evaluation, including D-dimer and genetic testing [5], as well as diagnostic imaging modalities such as Doppler ultrasonography, MRI, contrast venography, duplex venous scanning, or duplex venous ultrasonography [1].

KTS tends to progress over time. Beyond the classic triad, patients may experience orthopedic complications (limb lengthening, scoliosis, early-onset arthrosis), vascular sequelae (chronic venous insufficiency, trophic ulcers, thrombophlebitis, and the risk of pulmonary embolism), and systemic manifestations (visceral involvement, including gastrointestinal and genitourinary malformations that may predispose to hemorrhage) [6,7]. Lower extremity imaging typically reveals unilateral varicose veins, persistent embryonic veins, superficial and deep venous system anomalies, low-flow venolymphatic malformations, and bone and soft tissue hypertrophy [8]. These findings are predominantly unilateral, primarily affecting the lower leg or arm, with lesions extending to varying degrees, though involvement of other body regions is occasionally observed. The presence of at least two of the three classic components is considered sufficient for a definitive diagnosis of KTS [3].

Malformation is a congenital vascular developmental disorder characterized by the formation of an abnormal vessel structure, most commonly lacking intermediary capillaries.

Doppler ultrasonography is an ultrasound diagnostic modality that utilizes the Doppler effect to evaluate blood flow velocity, direction, and the functional status of venous valves.

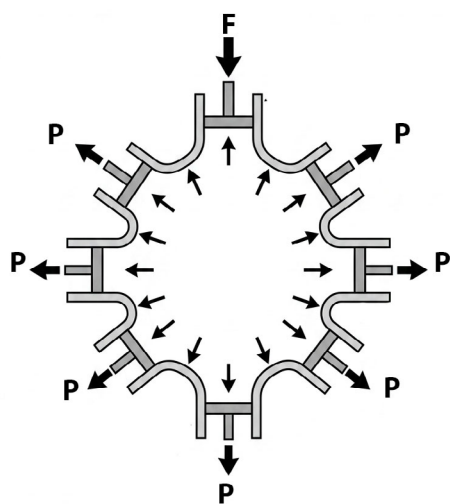
Duplex venous scanning is an ultrasound method that combines B-mode visualization of vascular structures with Doppler ultrasonography.

Contrast angiography is a high-precision blood vessel imaging technique that utilizes the administration of a contrast medium combined with X-ray or magnetic resonance scanning.

The management of KTS is primarily conservative, as no definitive cure is currently available. It encompasses symptomatic, non-invasive interventions aimed at improving patient quality of life. Consistent use of compression garments on the affected limb serves as the cornerstone of therapy. This approach is mandatorily combined with lower limb elevation, physiotherapy, lifestyle modifications, and meticulous hygiene practices [1,3,9]. Current literature favors minimally invasive procedures over open surgery due to the suboptimal postoperative outcomes and high complication rates associated with the latter [1]. Indications for surgical intervention are reserved for complications involving hemorrhage, infection, and venous thromboembolism [3]. Prior to any surgical procedure, blood flow within the deep venous system must be evaluated via contrast angiography to confirm deep venous patency [9].

The prognosis of the disease is generally favorable, particularly in younger age cohorts, but can escalate in severity depending on the specific underlying anomalies associated with the syndrome. Multiple factors may predispose KTS patients to thrombosis; furthermore, venous malformations can induce localized intravascular coagulopathy, subsequently leading to thrombosis and thromboembolism [3].

Given that external compression applied to the affected limb constitutes the cornerstone of KTS management, **this study aims to** elucidate the underlying physical principles governing compression therapy.



Pascal's Law

$$\Delta P = F/A,$$

where

ΔP is the change in pressure,

F is the applied force,

A is the area

Physical Foundations of a Healthy Venous System

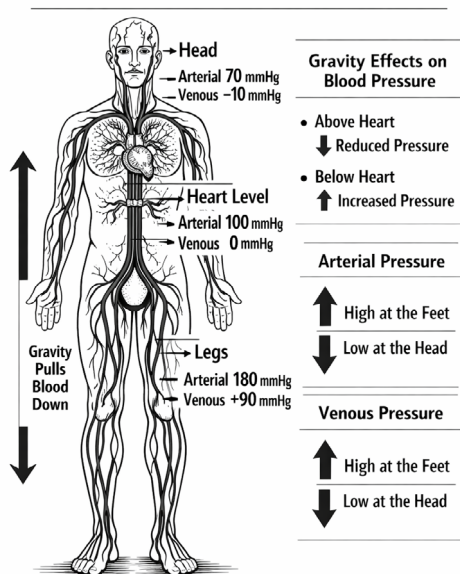
Under normal physiological conditions, the venous system ensures efficient blood return to the heart, driven by the pressure gradient between peripheral veins and the right atrium, the actions of the muscular and respiratory pumps, and the proper functioning of venous valves.

Among peripheral mechanisms, the calf muscle pump plays a pivotal role. Upon contraction, the gastrocnemius and soleus muscles compress the deep veins, propelling blood in the proximal direction. Consequently, this mechanism is frequently referred to as the «second heart» of the venous system.

The transmission of pressure within a fluid can be qualitatively described by **Pascal's law**. In the venous system, this principle manifests with respect to vascular elasticity and the presence of valves: localized pressure elevation during muscular contraction facilitates the forward

Розділ 1. Природничі науки в медицині
 Section 1. Natural sciences in medicine

Effect of Gravity on Blood Pressure
 in a Standing Human



expands due to diaphragmatic contraction and chest wall excursion. This leads to a reduction in intrathoracic pressure, which decreases the transmural pressure exerted on the right atrium and the large central veins. Consequently, central venous pressure decreases, thereby increasing the pressure gradient

$$\Delta P = P_{\text{peripheral veins}} - P_{\text{right atrium}}$$

between the peripheral veins and the right atrium, which constitutes one of the primary driving forces for venous return.

Furthermore, as the diaphragm descends during inspiration, it elevates intraabdominal pressure, thereby compressing the intraabdominal veins. This further facilitates the cephalad displacement of blood toward the thoracic cavity. Thus, the respiratory pump operates as a system that periodically generates a pressure differential between the abdominal and thoracic veins.

Consequently, the respiratory pump is a vital component of the venous return system, acting alongside the musculo-venous pump of the lower extremities and cardiac activity. This mechanism plays an especially critical role in venous circulatory pathologies, particularly KTS, where the efficiency of venous outflow is substantially compromised due to vascular malformations and venous insufficiency.

Physical Manifestations of Venous Pathologies

The most common venous pathology is valvular incompetence, which is typically preceded by a reduction in smooth muscle and elastin content due to an increased collagen volume within varicose veins. Primary deep venous valvular incompetence occurs less frequently and can be compensated for by a potent muscle pump, although chronic venous insufficiency may still develop in these patients over time [11]. In the presence of valvular apparatus incompetence, the segmentation of the hydrostatic blood column is disrupted, leading to the development of chronic venous hypertension. Under these conditions, the hydrostatic pressure component, according to Torricelli's law, is determined by the height of the blood column and in clinical practice corresponds to approximately 0.77 mmHg per centimeter of height; therefore, in an individual measuring about 174 cm in height, the pressure in the ankle region can reach approximately 90–100 mmHg [11].

In saphenofemoral incompetence, pathological blood reflux occurs. This leads to an increase in venous pressure within the distal segments, stretching of the venous wall,

Saphenofemoral incompetence is defined as valvular insufficiency at the junction where the great saphenous vein drains into the femoral vein.

and progressive valvular dysfunction, which manifests clinically as varicose vein transformation and edema [10].

Vascular dilation and valvular incompetence are accompanied by a reduction in blood flow velocity and the development of venous stasis (one of the pivotal components of **Virchow's triad**). This establishes favorable conditions for thrombus formation, particularly when combined with endothelial injury and alterations in the coagulation properties of blood.

The relationship between vascular geometry, blood viscosity, and volumetric flow rate can, as a model approximation, be described by **Poiseuille's law**. According to this approach, the flow rate is highly sensitive to changes in the vessel radius (as volumetric flow is directly proportional to r^4). However, within the venous system, this relationship has limited applicability due to vascular elasticity, the presence of valves, and flow unsteadiness.

Although an increase in vessel radius theoretically reduces hydrodynamic resistance, in veins characterized by valvular incompetence, it is accompanied by the emergence of reflux and venous blood pooling, leading to a reduction in the effective forward flow, the development of stasis, and an increase in venous pressure.

Disruptions in flow laminarity, venous dilation, and obstructions of the venous bed (particularly in deep vein thrombosis) further diminish the efficiency of venous return. A thrombus, by narrowing the vessel lumen, increases resistance to blood flow and promotes its further slowing, establishing conditions for the progression of the thrombotic process.

In chronic venous insufficiency, blood stagnation may be accompanied by localized alterations in its rheological properties, which further impairs hemodynamics. Disruptions in flow structure and the interaction of blood with the vascular wall are considered critical factors in the activation of the coagulation cascade [10].

The relationship between flow velocity and pressure can be qualitatively illustrated from the perspective of the principles described by Bernoulli's law. However, within the venous system, their application is limited due to the complex nature of the flow, the non-Newtonian properties of blood, and the presence of the valvular apparatus. Specifically, the reduction in blood flow velocity during venous dilation should be viewed not as a direct consequence of this principle, but rather as the result of the interplay between reflux, loss of valvular function, and alterations in the vascular wall.

Virchow's triad comprises **three primary pathological factors** that predispose to intravascular thrombus formation, as described by the German pathologist Rudolf Virchow: **endothelial injury, stasis of blood flow, and hypercoagulability**.

Poiseuille's Law

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \eta L}$$

where

Q is the volumetric flow rate (volume per unit time),

r is the radius of the tube (capillary),

ΔP is the pressure difference between the ends of the tube,

η is the coefficient of dynamic viscosity,

L is the length of the tube.

The **rheological properties of blood** describe its fluidity, viscosity, and the deformability of its formed elements, all of which ensure circulation through the vasculature.

Blood is a non-Newtonian, viscoelastic suspension, the viscosity of which depends on the hematocrit, erythrocyte aggregation, and flow shear rate.

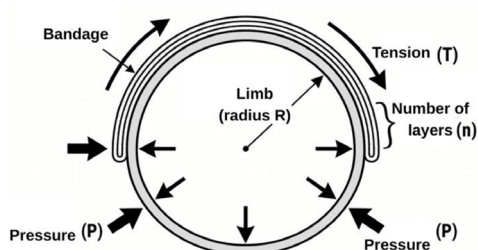
Compression Therapy in KTS

Hemodynamic disturbances in KTS are significantly more pronounced than in conventional venous diseases, which is attributed to the combination of congenital vascular anomalies and calf muscle pump dysfunction. Among the key alterations, massive venous reflux, increased venous filling, weakness of the calf muscle pump, severe venous hypertension, venous malformations, and aneurysmal venous dilations should be noted. These disturbances dictate the high clinical severity of the disease and the necessity of continuous compression support [12].

Compression therapy is the foundational method for correcting venous hemodynamics in KTS. It acts as a dynamic regulator, altering vascular geometry and hydrodynamic resistance, which facilitates the normalization of blood flow velocity and the redistribution of blood and interstitial fluid within the affected limb. Given the presence of venous malformations, tissue hypertrophy, and impaired lymphatic drainage, compression functions as a kind of «external skeleton» that stabilizes interstitial pressure. Although custom-made compression garments such as stockings and tights, selected based on the patient's individual anatomical characteristics, are currently being used increasingly in clinical practice, elastic bandaging of the limbs remained the primary method of compression therapy for a long time. Understanding the physical principles of compression bandaging enabled manufacturers of compression hosiery to develop models that provide the capability for individual selection of compression parameters to compensate for KTS-specific anomalies.

As noted above, in the upright position, the hydrostatic pressure within the veins of the distal lower extremities, particularly in the ankle region, can reach 90–100 mmHg at rest, which is attributed to the effect of the hydrostatic pressure component. Compression therapy exerts external mechanical pressure on the tissues and venous vessels, which facilitates a reduction in vein diameter, improves venous valve function, and decreases venous stasis, thereby reducing the severity of venous hypertension [13]. The mechanism of pressure distribution for compression products is described by **Laplace's law**, which helps to properly select and apply compression garments. According to Laplace's law, a smaller radius generates greater pressure [14,15].

Since the ankle is the narrowest part of the limb, the maximum pressure is generated here and gradually decreases proximally.



Laplace's law

$$P = T/R$$

where

P is the pressure,

T is the tension force,

R is the radius of curvature of the surface.

Розділ 1. Природничі науки в медицині
 Section 1. Natural sciences in medicine

This establishes a compression gradient that promotes the movement of blood and lymph toward the heart (typically 100%–70%–40% from the ankle to the thigh).

When bandaging is utilized as compression therapy, the distribution of compression pressure is determined not only by the tension of the bandage and the radius of the limb, but also by the number of bandage layers, the width of the bandage, the geometry of the limb, and the mechanical properties of the «bandage–soft tissue» system. The actual transmission of pressure to the vessels occurs through the layer of subcutaneous tissue and muscles, which partially redistribute the external pressure. Therefore, in practice, it is appropriate to calculate the effective pressure on the vessels (the pressure that truly reduces their diameter) which is achieved through the correct combination of bandage tension and tissue resistance:

$$P_{eff} = \frac{nT}{RW}, \quad (*)$$

where n is the number of bandage layers, T is the tension of the material (stretching force) of the compression textile, R is the radius of the limb, and W is the width of the bandage. To facilitate the practical application of the formula, the radius of the limb was expressed in terms of its circumference C , and the SI system of units was replaced with clinically prevalent units: kgf for tensile force and mmHg for pressure. This resulted in the modified form of the equation [16, 17]:

$$P_{eff} = \frac{4620nT}{CW}$$

In the numerator of (*), the material tension and the number of bandage layers are; moreover, an increase in these parameters leads to an elevation of the sub-bandage pressure in accordance with the biomechanical model of compression load distribution.

Compression materials are categorized into short-stretch (inelastic) and long-stretch systems, depending on their capacity for deformation under a tensile load. Short-stretch materials are characterized

by low elasticity and high stiffness, which ensures a low resting pressure and a high working pressure during calf muscle contraction. Consequently, they effectively augment the function of the musculo-venous pump and improve venous return, particularly in patients with preserved ambulatory activity. Long-stretch materials are capable of substantial elongation when tensioned and generate a higher resting pressure but a lower working pressure during movement. Such systems provide more uniform compression and are frequently utilized in the manufacturing of compression hosiery, specifically graduated compression stockings. Compression therapy facilitates a reduction in venous hypertension, improves venous valve function, decreases venous reflux, and optimizes microcirculation and lymphatic drainage [15, 18–20].

Clinically, the number of bandage layers is critical when choosing a wrapping technique. The most common wrapping techniques are the spiral and the figure-of-eight. Spiral wrapping, which creates a 50% bandage overlap, provides two layers of bandage on the limb, whereas a 66% overlap creates three bandage layers. Figure-of-eight wrapping ascends up the leg and then returns downward, resulting in a greater number of layers and, consequently, higher pressure. A mistake that clinicians unfamiliar with this concept may commit is wrapping the remainder of the bandage around the upper portion of the limb when the bandage is too long. This increases the number of layers proximally and creates a tourniquet effect due to the sub-bandage pressure becoming higher proximally than distally [16, 20, 21].

In the denominator of (*), the radius of the limb is located; therefore, the sub-bandage pressure is inversely proportional to it. The impact of the bandage width is indirect and related to changes in the tension distribution conditions and the degree of layer overlap. In clinical practice, variation in bandage width can be uti-

lized as one of the parameters to modify the distribution of compression pressure.

It should be noted that the sub-bandage pressure value obtained by (*) applies only at the moment of application. Most bandages lose a significant percentage of their initial tension over time, leading to a reduction in the applied pressure. The width of the bandage specified in (*) also refers to the width of the textile at the moment and point of application. It is this measured width that should be utilized in any calculation, rather than the unstretched or nominal width of the textile [16].

In the case of a normally shaped limb, the smaller radius of the lower leg and the larger radius of the thigh create a natural pressure gradient from higher distally to lower proximally. In KTS, anatomical alterations of the affected limb are present, specifically tissue hypertrophy, and standard compression hosiery may generate an inadequate pressure distribution. This justifies the necessity of an individual selection of compression garment parameters or bandage characteristics and application techniques [21].

The value calculated by (*) represents a theoretically estimated local compression pressure, which is determined by the bandaging parameters and the local geometry of the limb. Under the conditions of an idealized cylindrical limb model with a constant radius along its axis, the sub-ban-

dage pressure distribution approaches uniformity across the contact surface between the bandage and the skin or soft tissues. At the same time, the actual anatomical structure of the limb is characterized by variations in the local radius of curvature, soft tissue thickness, and the mechanical properties of tissue structures, which leads to a non-uniform distribution of compression pressure across different anatomical regions. Consequently, experimentally measured pressure values can differ significantly from theoretically calculated magnitudes obtained within simplified compression models [17,19,22-24].

To minimize local heterogeneity of the compression pressure, methods for modifying the limb geometry prior to bandaging are utilized in clinical practice. Specifically, in areas of anatomical prominences, soft paddings are employed to ensure the redistribution of contact pressure and a reduction in local compression peaks. In zones with substantial variations in surface curvature or insufficient soft tissue volume, additional rolls or pads are applied to partially level the limb profile. This approach allows for a reduction in local variations of the surface radius of curvature, which facilitates a more uniform distribution of compression pressure in accordance with Laplace's law [16,18].

Conclusion

The functioning of the venous system of the lower extremities is based on the principles of hemodynamics and is ensured by the coordinated action of the calf muscle pump and the valvular apparatus, which reduce the impact of hydrostatic pressure and maintain effective venous return, ensuring a relatively low ambulatory venous pressure. In Klippel-Trenaunay syndrome, pathological vascular alterations are accompanied by valvular dysfunction and hydrostatic overload, with the subsequent development of venous hypertension and blood stasis. Compression therapy facilitates the correction of these disturbances by reducing vein diameter, increasing blood flow velocity, and partially restoring pressure gradients within the limb. This establishes the critical role of external compression as one of the primary methods for compensating for hemodynamic changes and slowing the progression of vascular pathology.

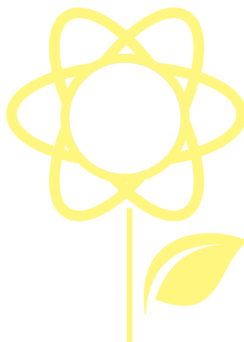
Conflict of interest

The authors declare the absence of financial or other conflicts of interest that could affect the

results, interpretation and conclusions of the study.

References

- Karmacharya RM, Vaidya S, Bhatt S, Tamang A, Shrestha RB, Bhandari N, Paudel B, Shah M, Nepal G. 2022. Klippel-Trenaunay Syndrome: Case series from a university hospital of Nepal. *Ann Med Surg (Lond)*. 78:103732. [doi:10.1016/j.amsu.2022.103732](https://doi.org/10.1016/j.amsu.2022.103732).
- Zea MI, Hanif M, Habib M, Ansari A. 2009. Klippel-Trenaunay Syndrome: a case report with brief review of literature. *J Dermatol Case Rep*. 3(4):56-59. [doi:10.3315/jdcr.2009.1038](https://doi.org/10.3315/jdcr.2009.1038).
- Pavone P, Marino L, Cacciaguerra G, Di Nora A, Parano E, Musumeci G, Ruggieri M, Polizzi A, Falsaperla R. 2023. Klippel-Trenaunay Syndrome, Segmental/Focal Overgrowth Malformations: A Review. *Children (Basel)*. 10(8):1421. [doi:10.3390/children10081421](https://doi.org/10.3390/children10081421).
- Silva Correia M. 2024. Obstetric management for pregnant women with Klippel Trenaunay syndrome. *Int J Gynecol Obstet*. [doi:10.1002/ijgo.15889](https://doi.org/10.1002/ijgo.15889).
- Kurek KC, Luks VL, Ayturk UM, Alomari AI, et al. 2012. Somatic mosaic activating mutations in PIK3CA cause CLOVES syndrome. *Am J Hum Genet*. 90(6):1108-1115.
- Chagas CAA, Pires LAS, Babinski MA, Leite TFO. 2017. Klippel-Trenaunay and Parkes-Weber syndromes: two case reports. *J Vasc Bras*. 16(4):320-324. [doi:10.1590/1677-5449.005417](https://doi.org/10.1590/1677-5449.005417).
- Deka JB, Deka NK, Shah MV, et al. 2020. Intraneural hemangioma in Klippel-Trenaunay syndrome: role of musculo-skeletal ultrasound in diagnosis – case report and review of the literature. *J Ultrasound*. 23(3):435-442. [doi:10.1007/s40477-020-00434-1](https://doi.org/10.1007/s40477-020-00434-1).
- Abdel Razek AAK. 2019. Imaging Findings of Klippel-Trenaunay Syndrome. *J Comput Assist Tomogr*. 43(5):786-792. [doi:10.1097/RCT.0000000000000895](https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000000895).
- Sung HM, Chung HY, Lee SJ, et al. 2015. Clinical Experience of the Klippel-Trenaunay Syndrome. *Arch Plast Surg*. 42(5):552-558. [doi:10.5999/aps.2015.42.5.552](https://doi.org/10.5999/aps.2015.42.5.552).
- Güven H. 2024. Fluid dynamics and venous hemodynamics in the lower extremities. *Vasa*. 53(5):308-313. [doi:10.1024/0301-1526/a001141](https://doi.org/10.1024/0301-1526/a001141).
- Meissner MH, Moneta G, Burnand K, Gloviczki P, Lohr JM, Lurie F, et al. 2007. The hemodynamics and diagnosis of venous disease. *J Vasc Surg*. 46(6 Suppl):S4-S24. [doi:10.1016/j.jvs.2007.09.043](https://doi.org/10.1016/j.jvs.2007.09.043).
- Delis KT, Gloviczki P, Wennberg PW, Rooke TW, Driscoll DJ. 2007. Hemodynamic impairment, venous segmental disease, and clinical severity scoring in limbs with Klippel-Trenaunay syndrome. *J Vasc Surg*. 45(4):761-771. [doi:10.1016/j.jvs.2006.12.035](https://doi.org/10.1016/j.jvs.2006.12.035).
- Rabe E, Partsch H, Hafner J, et al. 2018. Indications for medical compression stockings in venous and lymphatic disorders: An evidence-based consensus statement. *Phlebology*. 33(3):163-184. [doi:10.1177/0268355516689631](https://doi.org/10.1177/0268355516689631).
- Chassagne F, Badel P, Molimard J, Convert R, Giroux P, Avril S. 2016. Numerical Approach for the Assessment of Pressure Generated by Elastic Compression Bandage. *Ann Biomed Eng*. 44(10):3096-3108. [doi:10.1007/s10439-016-1597-3](https://doi.org/10.1007/s10439-016-1597-3).
- Todd M. 2011. Compression bandaging: types and skills used in practical application. *Br J Nurs*. 20(11):681-687. [doi:10.12968/bjon.2011.20.11.681](https://doi.org/10.12968/bjon.2011.20.11.681).
- Thomas S. 2003. The Use of the Laplace Equation in the Calculation of Sub-bandage Pressure. *World Wide Wounds*. <http://www.worldwidewounds.com/2003/june/Thomas/Laplace-Bandages.html>.
- Thomas S. 2014. The production and measurement of sub-bandage pressure: Laplace's Law revisited. *J Wound Care*. 23(5):234-246. [doi:10.12968/jowc.2014.23.5.234](https://doi.org/10.12968/jowc.2014.23.5.234).
- Protz K, Heyer K, Dörler M, Stücker M, Hampel-Kalthoff C, Augustin M. 2014. Compression therapy: scientific background and practical applications. *J Dtsch Dermatol Ges*. 12(9):794-801. [doi:10.1111/ddg.12405](https://doi.org/10.1111/ddg.12405).
- Tamoue F, Ehrmann A, Blachowicz T. 2019. Predictability of sub-bandage pressure in compression therapy based on material properties. *Text Res J*. 89(21-22):4410-4424. [doi:10.1177/0040517519833971](https://doi.org/10.1177/0040517519833971).
- Conde Montero E, Serra Perrucho N, de la Cueva Dobao P. 2020. Theory and Practice of Compression Therapy for Treating and Preventing Venous Ulcers. *Actas Dermosifiliogr (Engl Ed)*. 111(10):823-832. [doi:10.1016/j.adengl.2020.10.022](https://doi.org/10.1016/j.adengl.2020.10.022).
- McCulloch JM. 2010. Assessing the circulatory and sensory systems. In: McCulloch JM, Kloth LC, editors. *Wound Healing: Evidence-Based Management*. 4th ed. Philadelphia (PA): FA Davis. p. 94-101. <https://www.hmpgloballearningnetwork.com/site/wmp/article/notes-practice-keys-understanding-science-compression-wrapping>.
- Barhoumi H, Ben Abdesslem S, Marzougui S. 2018. Assessment of the accuracy of Laplace's law in predicting interface pressure generated by compressive garment used for medical applications. In: 2018 IEEE 4th Middle East Conference on Biomedical Engineering (MECBME). Tunis (TN): IEEE. p. 122-125. [doi:10.1109/mecbme.2018.8402418](https://doi.org/10.1109/mecbme.2018.8402418).
- Barhoumi H, Marzougui S, Abdesslem SB. 2019. Clothing Pressure Modeling Using the Modified Laplace's Law. *Cloth Text Res J*. 38(2):134-147. [doi:10.1177/0887302x19880270](https://doi.org/10.1177/0887302x19880270).
- Richards CJ, Steele JR, Spinks GM. 2020. Experimental evaluation and analytical model of the pressure generated by elastic compression garments on a deformable human limb analogue. *Med Eng Phys*. 83(1):93-99. [doi:10.1016/j.medengphy.2020.05.015](https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2020.05.015).



©2026

Наталія Стучинська,
Марія Андрійчук




Надійшла до редакції 17 лютого 2026р.
Прийнята до друку 11 травня 2026р.
Опубліковано на сайті 17 червня 2026р.

УДК: 519.876.5:004.94

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.II.1](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.II.1)

Математичне моделювання як інструмент формування професійної компетентності майбутніх магістрів біотехнології: дослідження роботи біореактора періодичної дії

Наталія Стучинська

 [0000-0002-5583-899X](https://orcid.org/0000-0002-5583-899X) @: nvstuchynska@gmail.com

Марія Андрійчук

 [0000-0003-0112-3830](https://orcid.org/0000-0003-0112-3830) @: amarid1957@gmail.com

Національний медичний університет ім. О.О.Богомольця, Київ, Україна

Ключові слова:

здобувачі вищої освіти,
компетентнісний підхід,
математичне
моделювання,
біореактор,
періодичний процес,
диференціальні рівняння,
Mathcad,
компетентності,
біотехнології.

Анотація

Біотехнології з року в рік набувають все більшого значення як рушій інноваційного розвитку сучасного технологічного суспільства, охоплюючи все ширші сфери діяльності людини: фармацію, медицину, харчову та хімічну промисловість, відновлення довкілля, екологію.

Істотно зростають вимоги до кадрового забезпечення біотехнологічної галузі, а відтак і до якості процесу підготовки майбутніх біотехнологів. Особливої ваги набуває опанування методів математичного та комп'ютерного моделювання, які дають змогу майбутнім фахівцям проектувати, аналізувати й оптимізувати біотехнологічні процеси відповідно до потреб промисловості та суспільних вимог.

У дослідженні представлено математичний опис процесів, що відбуваються в біореакторі періодичної дії, від оптимізації параметрів якого залежить ефективність біотехнологічного виробництва. Запропонована модель базується на рівняннях Міхаеліса-Ментена та Моно та реалізована в системах Mathcad та Python. Математична модель описує кінетичний модуль біореактора періодичної дії, враховуючи швидкість росту мікробів, споживання субстрату та утворення продукту. Для розв'язування системи диференціальних рівнянь використано оператор Odesolve в Mathcad 15. Отримані результати відтворюють характерну кінетику періодичної ферментації.

Цитування:

Стучинська Н, Андрійчук М. Математичне моделювання як інструмент формування професійної компетентності майбутніх магістрів біотехнології: дослідження роботи біореактора періодичної дії. *Природничі, математичні науки та освіта в медицині* 1(4) 2026 54-62

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.II.1](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.II.1)




Розділ 2. Математичні науки в медицині
Section 2. Mathematical sciences in medicine

Розроблена модель може бути застосована в реальних виробничих процесах і водночас має чималий дидактичний потенціал, оскільки дає змогу зрозуміти роль методів математичного та комп'ютерного моделювання в проектуванні біотехнологічних процесів, дослідженні варіантів оптимізації параметрів біореактора, можливостей керування кінетикою росту та швидкістю біохімічних перетворень. Здійснюючи комп'ютерне моделювання біотехнологічних процесів, студенти отримують практичні навички роботи з програмним забезпеченням, навчаються застосовувати сучасні цифрові технології, аналізувати складні біотехнологічні системи, інтерпретувати графічні результати, приймати обґрунтовані рішення та оцінювати ефективність виробництва. Така навчальна модель сприяє формуванню професійної компетентності, передбаченої освітніми програмами підготовки за спеціальністю G21 «Біотехнології та біоінженерія».

Mathematical Modeling as a Tool for Developing the Professional Competence of Biotechnology Master's Students: A Case Study of a Batch Bioreactor

Nataliia Stuchynska

 [0000-0002-5583-899X](https://orcid.org/0000-0002-5583-899X) @: nvstuchynska@gmail.com

Mariia Andriichuk

 [0000-0003-0112-3830](https://orcid.org/0000-0003-0112-3830) @: amarid1957@gmail.com

Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Key words:

students, HEI, competence-based approach, mathematical modeling, bioreactor, batch process, differential equations, Mathcad, competencies, biotechnology

Abstract

Biotechnology is gaining increasing significance each year as a driver of innovative development in modern technological society, extending across a wide range of human activities including pharmacy, medicine, food and chemical industries and environmental sustainability. Consequently, the requirements for qualified personnel in the biotechnology sector are rising, which enhances the demand for high-quality training of biotechnology students. Special emphasis is placed on mastering mathematical and computer modeling methods, which enable students to design, analyze, and optimize biotechnological processes in line with industrial needs and societal demands.

This study presents a mathematical description of the processes occurring in a batch bioreactor, the parameter optimization of which largely determines the efficiency of biotechnological production. The proposed model is based on the Michaelis-Menten and Monod equations, and the differential equations system is solved using the Odesolve operator in Mathcad 15, and the results reproduce characteristic kinetics of batch fermentation. The mathematical model describes the kinetic module of a batch bioreactor, accounting for microbial growth rate, substrate consumption, and product formation.

The developed model can be applied in real production processes and simultaneously possesses significant didactic value. It allows students to understand the role of mathematical and computer modeling in the design of various types of biotechnological processes, explore options for optimizing bioreactor parameters, and control growth kinetics and biochemical transformation rates. The students here acquire practical skills of dealing with the software, learn to apply modern digital technologies, analyze complex biotechnological systems, predict process behavior, interpret graphical results, make informed decisions, and evaluate production efficiency. Such an educational model contributes to the formation of professional competencies defined in the curriculae for specialty G21 Biotechnology and Bioengineering.

Зміст

Вступ	56
Методи досліджень	57
Результати і обговорення	57
Висновки та перспективи подальших досліджень	60
Список використаних джерел	61

Вступ

Система підготовки фахівців для сфери біотехнологій та біоінженерії зазнає невпинних змін, що обумовлені стрімким прогресом сфери біотехнологій та біоінженерії [1,2], цифровізацією [3,4], пришвидшеною інтеграцією системи освіти України у європейський освітній простір. Освітникам України сьогодні доводиться долати не лише виклики глобалізаційного характеру, а й виклики та загрози воєнного стану, що зумовлений широкомасштабним вторгненням РФ на територію нашої країни.

Біотехнології (*biotechnologia* від грецької *bios* – життя, *techne* – майстерність і *logos* – навчання) все ширше проникають в різні сфери діяльності сучасної людини – фармацію, медицину, харчову, хімічну промисловість тощо. Наукову основу біотехнологія одержала у середині 19 століття завдяки роботам Луї Пастера, у яких досліджувався зв'язок процесів бродіння з діяльністю мікроорганізмів.

Поштовхом для розвитку мікробіологічного синтезу і становленню промислового виробництва став біосинтез пеніцилінів методами ферментації (40-50-ті роки минулого століття). Так почалась ера антибіотиків. «Теоретичні основи безперервного керованого культивування мікробів, які розробив у 50-х роках Жак Моно (1910-1976 рр.), стали спонукальним мотивом для розробки способів великомасштабного культивування клітин різного походження» [5]. Набула актуальності проблема кон-

струювання спеціального обладнання для вирощування біологічних культур у контрольованих стабільних умовах. Так з'явилися перші біореактори (ферментери).

В Україні в рамках національної стратегії «WINWIN 2030» впроваджена «Галузева стратегія розвитку біотехнологій (BioTech)» (презентована Міністерством цифрової трансформації України 15 грудня 2023 року), яка спрямована на формування сучасної біотехнологічної екосистеми, розвиток біофармацевтики, медичних та промислових біотехнологій, а також інтеграцію науки, освіти й виробництва [6]. На підтримку модернізаційних змін спрямоване розпорядження Кабінету міністрів України від 31 грудня 2024 р. № 1351-року, яке як стратегічну ціль визначає створення сприятливого регуляторного режиму для розвитку біологічних технологій [2].

Такі реалії сьогодення обумовлюють підвищення вимог до кадрового забезпечення біотехнологічної галузі, загострюючи проблему забезпечення якості підготовки майбутніх біотехнологів, розвиток їх предметних, ключових та фахових компетентностей, і спонукають до пошуку нових форм методів та засобів в організації освітнього процесу. Особливої ваги набувають методи математичного та комп'ютерного моделювання, яке давно і ефективно застосовують для опису популяційної динаміки мікроорганізмів, імунних реакцій та механізмів дії лікарських засобів [7].

Розділ 2. Математичні науки в медицині
Section 2. Mathematical sciences in medicine

Мета дослідження - здійснити математичний опис процесів, що відбуваються у періодичному біореакторі, проаналізувати отримані математичні моделі з позицій формування ключових та професійних компетентностей здобувачів освіти у сфері біотехнологій.

Методи досліджень

Для досягнення мети дослідження було застосовано теоретичні та емпіричні методи досліджень, а саме:

- збір та систематизацію наукових робіт щодо опису процесів, які відбуваються в періодичному біореакторі;
- методи математичного та комп'ютерного моделювання з використанням систем Mathcad та Python;
- аналіз ключових та професійних компетентностей здобувачів освіти у сфері біотехнологій та можливостей їх формування засобом комп'ютерного моделювання.

Результати і обговорення

Сучасні біореактори – це складні системи з сенсорами, датчиками контролю рН, температури, з автоматизованим керуванням, яке здійснюється з використанням математичних та комп'ютерних моделей.

Перша математична модель, яка використовується для опису ферментативної кінетики була оприлюднена в журналі *Biochemische Zeitschrift* (видавництво Springer, Berlin) у 1913 році німецько-американським біохіміком Леонором Міхаелісом (англ. Leonor Michaelis) та канадійською біохімікою Мод Леонорою Ментен (англ. Maud Leonora Menten), в їх спільній статті «Die Kinetik der Invertinwirkung» для кінетики інвертази – ферменту, який каталізує гідроліз сахарози.

На сьогодні модель Міхаеліса-Ментен є «однією з основних та найпоширеніших моделей у біохімічних та фармацевтичних дослідженнях. Вона описує залежність швидкості утворення продукту P ферментативних реакцій, $V=dP/dt$, від концентрацій реагентів, зокрема концентрації субстрату S » [8].

З часом математичне моделювання стало невіддільною частиною біотехнологічних процесів. З'являються математичні моделі, які описують ріст популяцій

мікроорганізмів з насиченням – логістична модель (Verhulst та Gompertz). Модель Lotka–Volterra для конкурентних взаємодій, дає математичну основу для опису міжвидових взаємодій в екосистемах.

Модель Monod (1) стала основною для моделювання росту в біотехнологічних процесах.

Сучасне промислове виробництво продуктів біосинтезу є єдиною біотехнологічною системою, що складається з послідовних стадій та операцій. Стадія ферментації є основною стадією в біотехнологічному процесі, оскільки в її ході відбувається взаємодія продуцента із субстратом і утворення цільових продуктів. Ця стадія здійснюється в біохімічному реакторі (ферментері).

За режимом роботи ферментери поділяються на три категорії.

- *Періодичні* (batch) – завантажуються один раз, процес триває без додавання субстрату.
- *Напівперіодичні* (fed-batch) – поживний субстрат додається протягом процесу; найчастіший промисловий варіант.
- *Безперервні* (chemostat, continuous) – постійний притік і відтік середовища; стабільний стаціонарний режим.

Розділ 2. Математичні науки в медицині
 Section 2. Mathematical sciences in medicine

Ми поділяємо позицію, що «здобувачам вищої освіти зі спеціальності біотехнології та біоінженерія, важливо розуміти принцип роботи біореакторів, вміти моделювати процеси, які там відбуваються» [7]. У зв'язку з цим метою даного дослідження є постановка та розв'язання задачі, максимально наближеної до реальних виробничих умов, а саме – здійснення математичного опису процесів у періодичному біореакторі та розроблення відповідної комп'ютерної моделі його функціонування.

Для ілюстрації зазначених підходів і перевірки їх прикладної ефективності розглядається модель реального біотехнологічного процесу. Зокрема, передбачається проведення пілотної ферментації у періодичному біореакторі об'ємом 50 л з метою отримання цільового метаболіту P, який синтезується мікроорганізмами X у процесі їх росту на субстраті S.

За результатами попереднього калібрування визначено такі початкові параметри процесу:

- максимальна швидкість росту мікроорганізмів: $\mu_{\max} = 0,6 \text{ год}^{-1}$,
- константа насичення за субстратом: $K_s = 0.3 \text{ г/л}$,
- константа деградації біомаси: $k_d = 0.01 \text{ год}^{-1}$,
- початкова концентрація субстрату: $S(0) = 20 \text{ г/л}$,
- початкова концентрація біомаси: $X(0) = 0.1 \text{ г/л}$,
- вихід біомаси зі субстрату: $Y_{xs} = 0.45$,
- максимальна швидкість синтезу продукту: $V_{\max} = 1.5 \text{ г/(л·год)}$,
- константа Міхаеліса для продукту: $K_m = 1 \text{ г/л}$,
- Ферментація проводиться впродовж 40 годин.

Технолог регулює початкові концентрації середовища та визначає кінетичні параметри згідно з попередніми лабораторними випробуваннями. Спрогнозувати динаміку росту біома-

си (X), споживання субстрату (S) та синтезу продукту (p).

Для математичного опису процесів скористаємося відомими рівняннями Міхаеліса–Ментен та Монода. Зростання біомаси описано рівнянням Монода (1), утворення продукту описується кінетикою Міхаеліса-Ментена (2):

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S} \quad (1)$$

$$V = \frac{V_{\max} \cdot S}{K_m + S} \quad (2)$$

Для моделювання роботи біореактора ми складемо систему диференціальних рівнянь (3), яка описує ріст мікроорганізмів, споживання субстрату та утворення продукту:

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = \mu(S)X - k_d X \\ \frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y_{X/S}} \mu(S)X - \frac{1}{Y_{P/S}} \nu(S)X \\ \frac{dP}{dt} = \nu(S)X - k_d P \end{cases} \quad (3)$$

де:

X – концентрація біомаси (клітинна маса мікроорганізмів), г/л.

S – концентрація субстрату (поживної речовини), г/л.

P – концентрація продукту метаболізму, г/л.

$\mu(S)$ – питома швидкість росту мікроорганізмів, яка залежить від концентрації субстрату (часто описується рівнянням Міхаеліса–Ментен (2) або Монода (1)).

$\nu(S)$ – питома швидкість синтезу продукту.

$Y_{x/s}$ – вихід біомаси з субстрату (кількість біомаси, утворена з одиниці субстрату $Y_{x/s} = 0,45$).

$Y_{p/s}$ – вихід продукту з субстрату, ($Y_{p/s} = 0,25$).

k_d – константа швидкості відмирання клітин (деградації біомаси).

k_p – константа швидкості деградації або розпаду продукту. Константа k_p під час

Розділ 2. Математичні науки в медицині
 Section 2. Mathematical sciences in medicine

чисельного моделювання була прийнята рівною нулю ($k_p = 0$) і фактично не впливає на динаміку системи.

Проаналізуємо біологічний зміст рівнянь:

$$\frac{dX}{dt} = \mu(S)X - k_d X$$

– біомаса зростає зі швидкістю $\mu(S)X$, але зменшується через відмирання клітин $k_d X$.

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y_{X/S}} \mu(S)X - \frac{1}{Y_{P/S}} \nu(S)X$$

– субстрат витрачається на ріст мікроорганізмів та на утворення продукту.

$$\frac{dP}{dt} = \nu(S)X - k_d P$$

– продукт утворюється внаслідок метаболізму $\nu(S)X$ і може руйнуватися $k_d P$.

Продемонструємо створення комп'ютерної моделі за допомогою Mathcad15 (Рис.1).

Математична модель для періодичного біореактора має вигляд системи диференціальних рівнянь. Аналітично розв'язати таку систему важко. Застосовуючи систему комп'ютерної математики Mathcad, ми скористалися вбудованим чисельним блоком Odesolve, який дозволяє швидко отримати точні чисельні рішення для всіх змінних. Mathcad дає можливість змінювати початкові умови, параметри кінетики або тривалість процесу та одразу бачити вплив на динаміку.

Mathcad дозволяє будувати графіки всіх змінних після розв'язання системи диференціальних рівнянь (Рис.2).

Проаналізувавши комп'ютерну модель та її графічну інтерпретацію можемо спостерігати такі динамічні зміни:

- Субстрат на початку має високу концентрацію, в процесі росту клітин знижується і в стаціонарній фазі має низький рівень.
- Біомаса спочатку має лаг-фазу, а потім зростання збільшується, надалі наступить стаціонарна фаза.

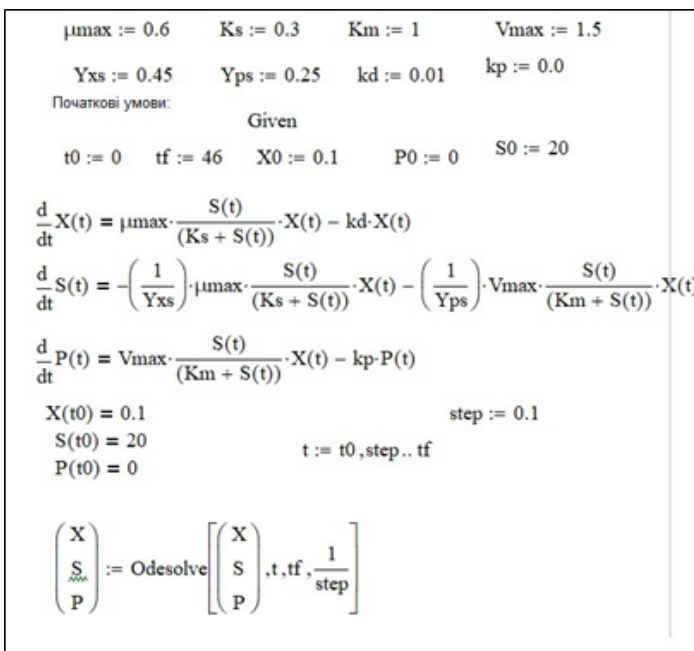


Рис. 1. Модель виробництва біоактивних речовин у періодичному біореакторі.

- Продукт починає зростати після росту біомаси.

Ми розглянули приклад виробничоорієнтованої задачі, що відтворює типові умови реального біотехнологічного виробництва [12-18]. Такі завдання мають чималий дидактичний потенціал, формуючи здатність розв'язувати складні задачі та проблеми біотехнологій. Наша думка збігається з позицією авторів [9, 10, 19], які стверджують, що існує значний

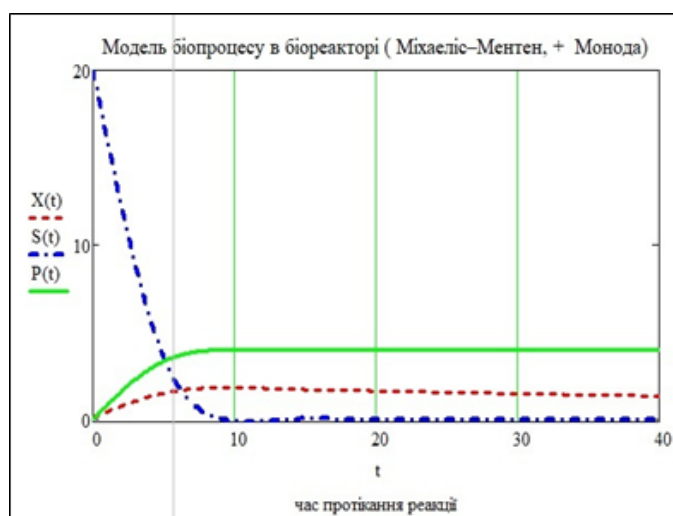


Рис. 2. Графічне відображення моделі виробництва біоактивних речовин у періодичному біореакторі.

Розділ 2. Математичні науки в медицині
Section 2. Mathematical sciences in medicine

розрив і значний потенціал у застосуванні методів проектування в підготовці фахівців для галузі охорони здоров'я і біотехнологічної сфери.

Опанування методами моделювання дає майбутнім фахівцям інструментарій для аналізу й оптимізації біотехнологічних процесів згідно сучасних вимог промисловості та державної стратегії розвитку галузі.

Студенти-біотехнологи, що навчаються на нашій кафедрі, набувають досвід розв'язання комплексних завдань також на прикладі створення комп'ютерної моделі за окремими математичними моделями Міхаеліса-Ментен або Монода. Робота з математичними моделями та програмними засобами (Mathcad, Python) сприяє розвитку загальних компетентностей – здатності до пошуку, оброблення та аналізу інформації. Моделювання процесів у періодичному біореакторі за допомогою систем диференціальних рівнянь та їх комп'ютерної реалізації в Mathcad 15, націлене на формування професійної компетентності здобувачів освіти за спеціальністю G21 «Біотехнології та біоінженерія». Тут однією з ключових компетентностей визначено «...здатність розробляти нові біотехнологічні об'єкти і технології та підвищувати ефективність існуючих технологій на основі експериментальних та/або теоретичних досліджень та/або комп'ютерного моделювання».

У процесі виконання професійно-орієнтованих завдань, студенти опану-

ють застосування математичних моделей до реальних біотехнологічних процесів. Отримають практичні навички в роботі з системами комп'ютерного моделювання (наприклад, Mathcad), розуміння зв'язку між кінетичними параметрами та технологічними режимами біореактора.

Ефективність біотехнологічного виробництва значною мірою залежить від оптимізації параметрів біореактора, керування кінетикою росту та швидкістю біохімічних перетворень. З огляду на складність цих процесів, важливою складовою підготовки сучасних фахівців є формування здатності застосовувати сучасні цифрові технології [20], виконувати аналіз складних біотехнологічних систем, прогнозувати поведінку процесів у біореакторі та приймати обґрунтовані рішення. Відтак, моделювання роботи біореактора виступає як універсальний інструмент розвитку ключових та професійних компетентностей здобувачів освіти у сфері біотехнологій.

Використання практико-орієнтованих завдань (кейсів) у процесі підготовки здобувачів спеціальності «Біотехнології та біоінженерія» сприяє формуванню практичних навичок необхідних для аналізу даних, використання сучасного програмного забезпечення, розв'язання біотехнологічних завдань. Наведені у роботі приклади та методи їх розв'язання демонструють можливості математичного моделювання як інструменту прийняття рішень у реальних виробничих умовах.

Висновки та перспективи подальших досліджень

У роботі представлено математичний опис процесу функціонування періодичного біореактора. Математична модель представлена системою диференціальних рівнянь, які є базою опису кінетичних процесів виробництва продуктів біосинтезу.

Реалізація математичної моделі за допомогою Mathcad дала можливість наочно інтерпретувати отримані результати.

Наведені приклади біотехнологічних завдань та методи їх вирішення за допомогою математичного та комп'ютерного моделювання, які є інструментом формування та розвитку ключових та професійної компетентності майбутніх фахівців у сфері біотехнологій.

Побудована модель може бути рекомендована для використання у на-

Розділ 2. Математичні науки в медицині
 Section 2. Mathematical sciences in medicine

вчальному процесі та сфері виробництва для прогнозування та оптимізації параметрів біотехнологічних процесів.

У подальших дослідженнях планується створювати математичні та комп'ютерні моделі для різних типів біореакторів. Також важливо враховувати додаткові фактори (варіативність субстратів, рН фактори тощо). Плану-

ється використання математичних моделей для прогнозування ефективності. Розробка моделей оптимально управління періодичними та безперервними процесами. З освітньою метою планується розробка практичних завдань для підвищення компетентності у сфері комп'ютерного моделювання.

Конфлікт інтересів

Автори декларують відсутність фінансових або інших конфліктів інтересів, які могли вплинути на результати, інтерпретацію та висновки дослідження.

Список використаних джерел

1. Stuchynska, N. V., Belous, I. V., & Mykytenko, P. V. (2021). Use of modern cloud services in radiological diagnostics training. *Wiadomości Lekarskie*, 78(3). Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display>
2. Iurii, K., Reva, T., Stuchynska, N., Pavlo, M., Inna, K., & Chkhalo, O. (2022). Digital competence as a necessary component of the professional competence of pharmaceutical industry employees. *Archives of Pharmacy Practice*, 13(1), 82–87. <https://doi.org/10.51847/8OrtVmWGRO>
3. Xiao, S., Yang, J., He, J., Qu, L., & Chen, S. (2023). Launching advanced biotechnology to elevate biotechnology research across disciplines, from biomedicine to agriculture. *Advanced Biotechnology*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.1007/s44307-023-00001-9>
4. Про схвалення Стратегії цифрового розвитку інноваційної діяльності України на період до 2030 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1351-2024-%D1%80#Text>
5. Стучинська, Н. В., Микитенко, П. В., & Андрійчук, М. Д. (2025). Комп'ютерне та математичне моделювання в біотехнологіях та біоінженерії: освітній аспект. *Медицина та фармація: освітні дискурси*, (3), 77–83. <https://doi.org/10.32782/eddiscourses/2025-3-11>
6. Wikipedia. (n.d.). *Біотехнологія*. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Біотехнологія>
7. Юлевич, О. В. І., Луговий, С. І., Каратєєва, О. І., & Баркар, Є. В. (2022). Біотехнології та біоінженерія. Вступ до фаху (навчальний посібник). МНАУ.
8. Чалий К., Кривенко І. Андрійчук М. Кінетичне моделювання біохімічних реакцій із застосуванням аналітичного інструментарію Mathcad. *Медична наука України*. 2024. No 20 (2). С. 68–78.
9. González-Cortés, J. J., Cantero, D., & Ramírez, M. (2025). Project-Based Learning in Bioprocess Engineering: MATLAB Software as a Tool for Industrial-Scale Bioreactor Design. *Computer Applications in Engineering Education*, 33(1). <https://doi.org/10.1002/cae.22811>
10. Kuchyn, I. L., Vlasenko, O. M., Melnyk, V. S., Stuchynska, N. V., Kucherenko, I. I., & Mykytenko, P. V. (2022). Simulation training and virtual patients as a component of classroom training of future doctors under COVID-19 conditions. *Wiadomości Lekarskie*, 75(5 Pt 1), 1118–1123. <https://doi.org/10.36740/WLek202205112>
11. Стучинська, Н. В., Андрійчук, М. Д., & Микитенко, П. В. (2025). Оптимізація виробничих та логістичних задач у фармації засобами математичного та комп'ютерного моделювання. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях, (1(8)). [https://doi.org/10.20998/2222-0631.2025.01\(8\).14](https://doi.org/10.20998/2222-0631.2025.01(8).14)
12. Білецький, В. С., & Скаун, Л. М. (2019). *Основи біотехнології*. НТУ «ХПІ».
13. Соловійов, В. І., & Дуброва, Т. О. (2020). Комп'ютерне моделювання біотехнологічних процесів. КНЕУ.
14. Козлов, В. М. (2018). *Біоінженерія: Навчальний посібник*. ЛНУ.
15. Гриценко, В. П. (2021). *Біотехнологія: Сучасні методи*. Либідь.
16. Nielsen, J., Villadsen, J., & Liden, G. (2017). *Bioreaction engineering principles* (3rd ed.). Springer.
17. Shuler, M. L., & Kargi, F. (2017). *Bioprocess engineering: Basic concepts* (3rd ed.). Prentice Hall.
18. Saha, B. C., & Hayashi, K. (Eds.). (2019). *Lignocellulose biodegradation*. American Chemical Society.
19. Стучинська Н., Новікова І. Проектування сучасного освітнього середовища на засадах особистісно орієнтованого та компетентнісного підходів. *Наукові записки*. Серія: Проблеми методики фі-

Розділ 2. Математичні науки в медицині
Section 2. Mathematical sciences in medicine

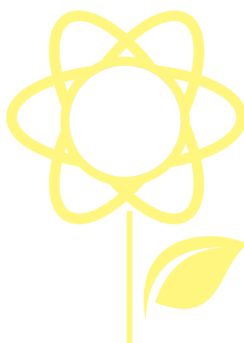
зико-математичної і технологічної освіти. Випуск 10(2). С. 142–148.

20. N. V. Mospan, V. O. Ognevuyuk, and S. S. Sysoieva, "Emergency higher education digital transformation:

Ukraine's response to the COVID-19 pandemic", ITLT, vol. 89, no. 3, pp. 90–104, Jun. 2022, doi: 10.33407/itlt.v89i3.4827.

References

1. Stuchynska, N. V., Belous, I. V., & Mykytenko, P. V. (2021). Use of modern cloud services in radiological diagnostics training. *Wiadomości Lekarskie*, 78(3). Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display>
2. Iurii, K., Reva, T., Stuchynska, N., Pavlo, M., Inna, K., & Chkhalo, O. (2022). Digital competence as a necessary component of the professional competence of pharmaceutical industry employees. *Archives of Pharmacy Practice*, 13(1), 82–87. <https://doi.org/10.51847/8OrtVmWGRO>
3. Xiao, S., Yang, J., He, J., Qu, L., & Chen, S. (2023). Launching advanced biotechnology to elevate biotechnology research across disciplines, from biomedicine to agriculture. *Advanced Biotechnology*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.1007/s44307-023-00001-9>
4. Pro skhvalennia Stratehii tsyfrovoho rozvytku innovatsiinoi diialnosti Ukrainy na period do 2030 roku. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1351-2024-%D1%80#Text>
5. Stuchynska, N. V., Mykytenko, P. V., & Andriichuk, M. D. (2025). Komputerne ta matematyчне modeliuвання v biotekhnolohiiakh ta bioinzhenierii: osvittni aspekt. *Medytsyna ta farmatsiia: osvittni dyskursy*, (3), 77–83. <https://doi.org/10.32782/eddiscourses/2025-3-11>
6. Vikipediia. (n.d.). Biotekhnolohiia. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Біотехнологія>
7. Yulevych, O. V. I., Luhovyi, S. I., Karatieieva, O. I., & Barkar, Ye. V. (2022). Biotekhnolohii ta bioinzhenierii. Vstup do fakhu (navchalnyi posibnyk). MNAU.
8. Chalyi, K., Kryvenko, I., & Andriichuk, M. (2024). Kinetyчне modeliuвання biokhimichnykh reaktsii iz zastosuvanniam analitychnoho instrumentarii Mathcad. *Medychna nauka Ukrainy*, 20(2), 68–78.
9. González-Cortés, J. J., Cantero, D., & Ramírez, M. (2025). Project-Based Learning in Bioprocess Engineering: MATLAB Software as a Tool for Industrial-Scale Bioreactor Design. *Computer Applications in Engineering Education*, 33(1). <https://doi.org/10.1002/cae.22811>
10. Kuchyn, I. L., Vlasenko, O. M., Melnyk, V. S., Stuchynska, N. V., Kucherenko, I. I., & Mykytenko, P. V. (2022). Simulation training and virtual patients as a component of classroom training of future doctors under COVID-19 conditions. *Wiadomości Lekarskie*, 75(5 Pt 1), 1118–1123. <https://doi.org/10.36740/WLek202205112>
11. Stuchynska, N. V., Andriichuk, M. D., & Mykytenko, P. V. (2025). Optymizatsiia vyrobnychkh ta lohistychnykh zadach u farmatsii zasobamy matematychnoho ta kompiuternoho modeliuвання. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Serii: Matematyчне modeliuвання v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*, (1(8)). [https://doi.org/10.20998/2222-0631.2025.01\(8\).14](https://doi.org/10.20998/2222-0631.2025.01(8).14)
12. Biletskyi, V. S., & Skakun, L. M. (2019). *Osnovy biotekhnolohii*. NTU "KhPI".
13. Soloviov, V. I., & Dubrova, T. O. (2020). *Kompiuterne modeliuвання biotekhnolohichnykh protsesiv*. KNEU.
14. Kozlov, V. M. (2018). *Bioinzhenierii: Navchalnyi posibnyk*. LNU.
15. Hrytsenko, V. P. (2021). *Biotekhnolohiia: Suchasni metody*. Lybid.
16. Nielsen, J., Villadsen, J., & Liden, G. (2017). *Bioreaction engineering principles* (3rd ed.). Springer.
17. Shuler, M. L., & Kargi, F. (2017). *Bioprocess engineering: Basic concepts* (3rd ed.). Prentice Hall.
18. Saha, B. C., & Hayashi, K. (Eds.). (2019). *Lignocellulose biodegradation*. American Chemical Society.
19. Stuchynska N., Novikova I. *Proektuvannia suchasnoho osvittnoho seredovyshcha na zasadakh osobystisno oriientovanoho ta kompetentnisnoho pidkhodiv. Naukovi zapysky. Serii: Problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnolohichnoi osvity. Vypusk 10(2). S. 142–148*
20. N. V. Mospan, V. O. Ognevuyuk, and S. S. Sysoieva, "Emergency higher education digital transformation: Ukraine's response to the COVID-19 pandemic", ITLT, vol. 89, no. 3, pp. 90–104, Jun. 2022, doi: 10.33407/itlt.v89i3.4827.



©2026
Zhanetta Chornenka



Надійшла до редакції 04 травня 2026р.
Прийнята до друку 18 травня 2026р.
Опубліковано на сайті 17 червня 2026р.

UDC: 311:61:378

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.II.2](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.II.2)

Pearson's Chi-squared test as a tool of evidence-based medicine in clinical practice and medical education

Zhanetta Chornenka

: [0000-0003-2314-1976](https://orcid.org/0000-0003-2314-1976) @: chornenka.zhanetta@bsmu.edu.ua

Bukovynian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

Key words:

*Pearson's chi-squared test (χ^2 test),
Cramer's V coefficient,
medical statistics,
evidence-based medicine,
higher education,
biostatistics*

Abstract

The article examines the application of the Pearson's chi-squared test (χ^2 test) as one of the key tools of statistical analysis in evidence-based medicine, in particular in clinical practice and training of healthcare professionals. The importance of mathematical statistics methods for processing medical data, making informed clinical decisions and forming a scientifically proven evidence base is emphasized. A generalization of the theoretical provisions of Pearson's chi-squared test, including the conditions of its correct use for testing hypotheses regarding the independence of qualitative features, as well as approaches to the interpretation of the obtained results in medical research, is presented. Cramer's V was also discussed as a measure of association strength between categorical variables, expanding the analytical utility of the criterion.

The main areas of practical application of this statistical approach in medicine are summarized, including the determination of relationships between risk factors and pathological conditions, the assessment of treatment effectiveness, and the analysis of diagnostic characteristics. It is shown that the complex application of the Pearson's chi-squared test and the Cramer's V coefficient makes it possible not only to establish the presence of statistically significant dependencies, but also to assess their strength quantitatively. The importance of statistical methods to the development of future physicians' professional competencies is discussed, in particular, the development of analytical thinking, the ability to work with scientific information and use the principles of evidence-based medicine in practical activities. The limitations of the application of the Pearson's chi-squared test related to the characteristics of the sample, types of data and the risk of statistical errors are highlighted. Attention was paid to the expediency of updating approaches to teaching medical statistics by introducing practice-oriented tasks and using modern software for data analysis. It is substantiated that the combined use of the Pearson's chi-squared test and Cramer's

Cite as:

Chornenka Zh, Pearson's Chi-squared test as a tool of evidence-based medicine in clinical practice and medical education. Natural & Mathematical Sciences in Medicine and Medical Education 1(4) 2026 63-70
DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.II.2](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.II.2)



V coefficient increases the quality of the interpretation of research results and contributes to the training of competitive specialists.

The prospects of using digital technologies in the statistical processing of medical information, which ensures greater accuracy of calculations and reduces the likelihood of errors during the interpretation of results are also outlined. The role of interdisciplinary integration of knowledge in medicine, biostatistics and information technologies is emphasized as an important condition for the effective application of statistical methods in modern scientific and clinical research.

Критерій хі-квадрат Пірсона як інструмент доказової медицини у клінічній практиці та підготовці фахівців у закладах вищої освіти

Жанетта Чорненка

 [0000-0003-2314-1976](https://orcid.org/0000-0003-2314-1976) @: chornenka.zhanetta@bsmu.edu.ua

Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна

Ключові слова:

*критерій хі-квадрат
Пірсона (тест χ^2),
коефіцієнт Крамера,
медична статистика,
доказова медицина,
вища освіта,
біостатистика*

Анотація

У статті досліджено застосування критерію хі-квадрат Пірсона (тест χ^2) як одного з ключових інструментів статистичного аналізу в доказовій медицині, зокрема у клінічній практиці та підготовці фахівців у закладах вищої освіти. Акцентовано увагу на значенні методів математичної статистики для опрацювання медичних даних, ухвалення обґрунтованих клінічних рішень і формування науково підтвердженої доказової бази. Подано узагальнення теоретичних положень критерію хі-квадрат Пірсона, включаючи умови його коректного використання для перевірки гіпотез щодо незалежності якісних ознак, а також підходи до тлумачення отриманих результатів у медичних дослідженнях. Окремо охарактеризовано коефіцієнт Крамера як показник інтенсивності зв'язку між категоріальними змінними, що розширює аналітичні можливості зазначеного критерію.

Узагальнено напрями практичного використання цього статистичного підходу в медицині, серед яких визначення взаємозв'язків між факторами ризику та патологічними станами, оцінювання результативності лікування, а також аналіз діагностичних характеристик. Показано, що комплексне застосування критерію хі-квадрат Пірсона разом із коефіцієнтом Крамера дає змогу не лише встановити наявність статистично значущих залежностей, а й кількісно оцінити їх силу. Окреслено значення статистичних методів для формування професійних компетентностей майбутніх лікарів, зокрема розвитку аналітичного мислення, уміння працювати з науковою інформацією та використовувати принципи доказової медицини у практичній діяльності.

Висвітлено обмеження застосування критерію хі-квадрат Пірсона, що пов'язані з особливостями вибірки, типами даних і ризиком виникнення статистичних помилок. Зосереджено увагу на доцільності оновлення підходів до викладання медичної статистики шляхом впровадження практикоорієнтованих завдань і використання сучасного програмного забезпечення для аналізу даних. Обґрунтовано, що поєднане використання критерію хі-квадрат Пірсона та коефіцієнта Крамера підвищує якість інтерпретації результатів досліджень і сприяє підготовці конкурентоспроможних фахівців.

Також окреслено перспективи використання цифрових технологій у ста-

Розділ 2. Математичні науки в медицині
Section 2. Mathematical sciences in medicine

мистичній обробці медичної інформації, що збільшує точність розрахунків і зменшує ймовірність помилок під час інтерпретації результатів. Підкреслено роль міждисциплінарної інтеграції знань з медицини, біостатистики та інформаційних технологій як важливої умови ефективного застосування статистичних методів у сучасних наукових і клінічних дослідженнях.

Contents

Introduction	65
Research materials and methods	66
Research results and their discussion	66
Conclusions	69
References	70

Introduction

The modern development of medicine is inextricably linked with the implementation of the principles of evidence-based medicine, which involves the systematic use of objective methods of clinical data analysis, statistical testing of hypotheses and critical evaluation of research results [1, 2]. In this context, the methods of mathematical statistics become especially important as tools for justifying clinical decisions, in particular, approaches to the analysis of categorical data [3, 4].

One of the basic and most common statistical methods is the Pearson's chi-squared test, which is widely used to assess the relationships between qualitative features and test hypotheses regarding their independence in medical research [5, 6]. Its theoretical base and practical use are discussed in detail

in modern biostatistical literature [7, 8].

In medical practice, the use of the Pearson's chi-squared test allows for the analysis of associations between risk factors and the development of diseases, to evaluate the effectiveness of treatment and preventive measures, as well as to interpret the results of clinical and epidemiological studies [3, 5].

It should also be noted, that in higher medical education, the formation of statistical competence is of particular importance not only among students, but also among graduate students, doctoral students, and scientific and pedagogical workers, which corresponds to modern approaches to medical education [7, 8]. Mastery of statistical analysis methods is a necessary condition for high-quality scientific activity and training of specialists in the field of evidence-based medicine [4, 8].

The purpose of the study is to substantiate the role of the Pearson's chi-squared test as a tool of evidence-based medicine in clinical practice and training in medical education.

Tasks of the research:

- To analyze the theoretical base of the application of the Pearson's chi-squared test in medical research.
- To determine the main areas of use of Pearson's chi-squared test in clinical practice.
- To assess the value of statistical methods in the formation of professional competences of medical students.
- To identify limitations and typical errors when applying the Pearson's chi-squared test.
- To substantiate the expediency of statistical methods integrating into the educational process of higher education.

Розділ 2. Математичні науки в медицині
 Section 2. Mathematical sciences in medicine

Research materials and methods

The work uses a complex of general scientific and special research methods, in particular:

- analysis and generalization of scientific sources on medical statistics and evidence-based medicine;
- comparative analysis of approaches to the application of the Pearson’s chi-squared test in clinical research;
- methods of systematization and interpretation of statistical data;
- pedagogical analysis regarding the use of statistical methods in the process of training students of higher education institutions.

The methodological basis of the research is the provisions of evidence-based medicine, biostatistics and modern approaches to the professional training of medical specialists. Examples of the use of Pearson’s chi-squared test for the analysis of relationships between qualitative features in clinical studies are considered in the work.

Research results and their discussion

The conducted analysis confirmed that the Pearson’s chi-squared test is one of the most universal and accessible statistical data processing tools in modern evidence-based medicine [7, 9]. Its application allows evaluating the statistical significance of relationships between categorical variables, which is critically important for making clinical decisions and interpreting research results [5, 9].

The obtained results show that the Pearson’s chi-squared test is effectively used in clinical practice to determine the relationship between risk factors (in particular, lifestyle, bad habits, concomitant diseases) and the development of pathologies, to analyze the frequency of complications in different groups of patients, to evaluate the effectiveness of treatment and preventive measures, as well as to interpret the results of diagnostic and screening studies. These results are consistent with the data of international studies, which confirm the effectiveness of using the Pearson’s chi-squared test in clinical epidemiology and medical statistics [6, 9].

The following example is illustrative and is presented solely to demonstrate the methodological procedure for applying Pearson’s chi-squared test.

Therefore, the obtained results should

not be interpreted as evidence from a real clinical study (Table 1).

Table 1
 Distribution of patients according to the presence of a risk factor and disease

Patient group	Disease present	Disease absent	Total
Smokers	48	22	70
Non-smokers	26	54	80
Total	74	76	150

Based on the obtained data, the expected frequencies were determined (Table 2).

Table 2
 Expected frequencies

Group	Expected (is)	Expected (none)
Smokers	34.53	35.47
Non-smokers	39.47	40.53

Statistical hypothesis testing was carried out using the Pearson’s chi-squared test.

Null hypothesis (H_0): there is no relationship between the investigated features.

Alternative hypothesis (H_1): there is a statistically significant relationship between the traits.

Розділ 2. Математичні науки в медицині
 Section 2. Mathematical sciences in medicine

The calculation was carried out according to the formula:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E}$$

where

- *O (Observed)* is the observed frequency, that is, the actual number of cases in the cell.
- *E (Expected)* is the expected frequency, that is, the number of cases that would be expected if there was no relationship between the variables.

The calculation results are presented in Table 3.

The degrees of freedom were determined by the formula:

$$df = (r - 1)(c - 1)$$

where

- *df* is degrees of freedom.
- *r* (rows) is the number of rows in the conjugation table.
- *c* (columns) is the number of columns in the conjugation table.

Table 3

Distribution of patients according to the presence of a risk factor and disease

Group	O	E	(O - E) ² / E
Smokers, disease present	48	34.53	5.25
Smokers, disease absent	22	35.47	5.11
Non-smokers, disease present	26	39.47	4.60
Non-smokers, disease absent	54	40.53	4.48
Σ x ²	19.44		

In this case, *df* = 1. The critical value at *p* = 0.05 is 3.84.

Since the obtained *x*² value = 19.44 exceeds the critical one, we reject the null hypothesis. This indicates the existence of a statistically significant relationship between smoking and the development of cardiovascular diseases.

The Cramer's coefficient was used to estimate the association strength:

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{n(k-1)}}$$

where

- *x*² is the value of the chi-square test.
- *n* is the total number of observations in the sample.
- *k* is the smaller number between the number of table rows and the number of table columns.

As a result of calculations, the value *V* = 0.36 was obtained, which corresponds to a moderate level of association strength. This makes it possible to clarify the clinical interpretation of the results, since statistical significance does not always reflect the practical significance of the effect.

The obtained results confirm that Pearson's chi-squared test remains one of the most widely used and effective statistical methods for identifying associations between categorical variables in clinical epidemiology, public health research, and medical education. Owing to its relative simplicity, accessibility, and interpretability, this method is broadly applied in evidence-based medicine for the analysis of relationships between risk factors, clinical outcomes, treatment effectiveness, and epidemiological indicators. Furthermore, despite its extensive use, the correct application of Pearson's chi-squared test requires strict adherence to methodological principles and careful interpretation of the obtained results.

One of the main methodological limitations of Pearson's chi-squared test concerns sample size requirements and the adequacy of expected frequencies within contingency tables. Classical statistical recommendations indicate that the method provides the most reliable results when expected frequencies in table cells are sufficiently large, generally not lower than 10 observations per cell or at least 5 observations when Yates' continuity correction is applied in 2×2 tables. Violation of these

Розділ 2. Математичні науки в медицині
Section 2. Mathematical sciences in medicine

assumptions may substantially reduce the validity of statistical conclusions and increase the probability of type I or type II errors. In cases involving small samples, rare clinical events, or sparse data distribution, Pearson's chi-squared test may generate unstable or unreliable estimates. Under such circumstances, Fisher's exact test is considered a more appropriate alternative because it provides more precise probability calculations for small datasets and low expected frequencies [3, 7].

Another important aspect concerns the influence of hidden confounding variables and the complexity of interpreting associations identified through categorical data analysis. In epidemiological and clinical research, statistically significant associations do not necessarily indicate direct causal relationships. A classic example illustrating this limitation is Simpson's paradox, where associations identified in aggregated data may weaken, disappear, or even reverse after stratification into separate subgroups. Such situations are frequently associated with unequal distribution of risk factors, disease severity, age structure, or other confounding characteristics between comparison groups. Consequently, statistical analysis should always be accompanied by comprehensive clinical and methodological interpretation that considers study design, population heterogeneity, and possible external influences.

In practical research settings, several common methodological errors are associated with the inappropriate use of Pearson's chi-squared test. These include incorrect group formation, violation of the independence of observations, duplication of observations within datasets, repeated multiple comparisons without correction for type I error inflation, and overreliance on p-values without consideration of effect size or clinical significance. Furthermore, researchers may incorrectly interpret statistical significance as definitive proof of causal relationships,

despite the fact that chi-squared analysis only demonstrates the presence or absence of associations between variables. Therefore, statistical findings should be evaluated in conjunction with clinical relevance, epidemiological context, confidence intervals, and additional statistical indicators.

An important component of the present analysis is the consideration of statistical literacy and methodological competence within modern medical education. Contemporary healthcare systems increasingly require medical professionals to possess not only clinical knowledge but also competencies in biostatistics, epidemiology, evidence-based medicine, and digital data analysis. The ability to critically interpret statistical information has become a necessary element of professional activity for physicians, researchers, educators, and healthcare managers. Consequently, the integration of statistical training into undergraduate, postgraduate, and continuing medical education is of particular importance.

In this context, the use of specialized statistical software packages, including IBM SPSS Statistics and R, plays a significant role in improving the quality and efficiency of medical research [10,11]. Modern digital tools facilitate automated calculations, reduce the probability of computational errors, improve data visualization, and support the application of advanced statistical methods. In addition, the use of digital analytical platforms contributes to the development of research competencies among students, graduate students, doctoral candidates, and scientific and pedagogical staff involved in scientific projects and evidence-based clinical practice.

Particular attention should also be given to practice-oriented educational approaches based on the analysis of real or simulated clinical and epidemiological datasets. The incorporation of statistical case studies, clinical scenarios, and applied research tasks into educational programs promotes

Розділ 2. Математичні науки в медицині
Section 2. Mathematical sciences in medicine

the development of analytical thinking and enhances the ability of learners to apply scientifically grounded principles in professional decision-making. Such approaches improve understanding of statistical methodology and strengthen competencies related to interpretation of research outcomes, critical appraisal of scientific literature, and implementation of evidence-based recommendations in healthcare practice [12, 13].

The growing digitalization of healthcare and education additionally increases the importance of integrating innovative technologies into the process of statistical training. The application of artificial intelligence systems, automated data analysis platforms, machine learning tools, and predictive analytical models creates new opportunities for strengthening methodological rigor and optimizing educational processes [14]. Moreover, the effective use of such technologies requires an adequate level of digital competence, understanding of statistical methodology, and adherence to ethical standards in scientific research and medical data management.

The obtained findings are also consistent with current international approaches to evidence-based medicine and healthcare quality improvement promoted by the World Health Organization and other international scientific organizations [15]. Modern recommendations emphasize the importance of statistically justified clinical decision-making, standardized analytical approaches, and the integration of scientific evidence into healthcare practice. In this regard, the development of statistical competence among healthcare professionals contributes

not only to improving individual research quality but also to strengthening healthcare systems, advancing medical science, and supporting public health initiatives.

Furthermore, the role of statistical methods extends beyond clinical research and directly influences the quality of healthcare management, public health monitoring, and policy development. Reliable statistical analysis enables the identification of epidemiological trends, evaluation of preventive interventions, assessment of treatment outcomes, and optimization of healthcare resource allocation. Therefore, mastery of statistical methods should be considered an essential component of the professional competence of modern healthcare specialists and scientific personnel.

Thus, the combination of classical statistical methods with modern digital technologies and contemporary educational approaches creates favorable conditions for strengthening methodological quality in medical research, strengthening evidence-based medical practice, and enhancing the professional training of healthcare specialists. Pearson's chi-squared test, especially when used together with additional statistical indicators such as Cramer's V coefficient and other measures of association strength, remains an important analytical tool in both clinical practice and medical education. Its appropriate application contributes to the formation of evidence-based thinking, improvement of scientific methodology, enhancement of professional competencies, and compliance with current international standards of medical science and healthcare education.

Conclusions

The study confirmed the importance of Pearson's chi-squared test as one of the fundamental statistical tools of evidence-based medicine for analyzing relationships between categorical variables in clinical practice and medical education.

Using an illustrative example, the methodological procedure for applying the test to evaluate associations between smoking and cardiovascular diseases was demonstrated, highlighting its analytical potential for detecting statistically significant re-

Розділ 2. Математичні науки в медицині
 Section 2. Mathematical sciences in medicine

relationships between categorical variables.

The additional use of Cramer's V coefficient emphasized the importance of assessing not only statistical significance but also the strength of associations, thereby improving the interpretation of research results. Furthermore, the study summarized the main methodological limitations of Pearson's chi-squared test, including sample size requirements, expected frequency assumptions, and the inability to establish causal relationships without additional analytical methods.

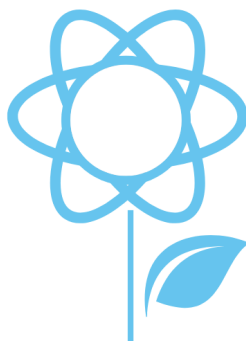
The educational analysis demonstrated the growing importance of statistical competence in the training of healthcare professionals and confirmed the expediency of integrating practice-oriented statistical training and digital analytical tools into medical education. Such approaches promote critical interpretation of scientific evidence, strengthen methodological rigor in scientific research, and enhance analytical and research skills in accordance with modern requirements of healthcare and medical science.

Conflict of interest

The author declares the absence of financial or other conflicts of interest that could affect the results, interpretation and conclusions of the study.

References

- Sackett DL, Rosenberg WMC, Gray JAM, Haynes RB, Richardson WS. Evidence based medicine: what it is and what it isn't. *BMJ*. 1996 [Accessed 20 May 2026];312(7023):71-72. <https://doi.org/10.1136/bmj.312.7023.71>.
- Djulgovic B, Guyatt GH. Progress in evidence-based medicine: a quarter century on. *Lancet*. 2017 [Accessed 20 May 2026];390(10092):415-423. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(16\)31592-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(16)31592-6).
- Altman DG. *Practical Statistics for Medical Research*: Chapman and Hall/CRC; 1990 [Accessed 20 May 2026]. <https://doi.org/10.1201/9780429258589>.
- Motulsky H. "Intuitive biostatistics: a nonmathematical guide to statistical thinking". 4-те вид. New York: Oxford University Press; 2018. 608 с.
- McHugh ML. The Chi-square test of independence. *BiochemMedica*. 2013 [Accessed 20 May 2026]:143-149. <https://doi.org/10.11613/bm.2013.018>.
- Montaña RM, Roco-Videla Á, Nieves AR, Flores SV. Prueba de Chi cuadrado de homogeneidad en estudios clínicos: una herramienta para analizar diferencias entre tratamientos. *Med Fam SEMERGEN*. 2025 [Accessed 20 May 2026];51(1):102332. <https://doi.org/10.1016/j.semerg.2024.102332>.
- Agresti A. *An Introduction to Categorical Data Analysis*. 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2018. 400p.
- Bewick V, Cheek L, Ball J. *Crit Care*. 2004 [Accessed 20 May 2026];8(1):46. <https://doi.org/10.1186/cc2428>.
- Bland M. "An Introduction to Medical Statistics. 4-те вид. Oxford: Oxford University Press; 2015. 464 с.
- Corporation IBM. *IBM SPSS Statistics for Windows [computer software]*. version 29.0. (Armonk, NY), USA; 2022.
- R Core Team. 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org>
- Windish DM, Huot SJ, Green ML. Medicine Residents' Understanding of the Biostatistics and Results in the Medical Literature. *JAMA*. 2007 [дата звернення 20 трав. 2026];298(9):1010. <https://doi.org/10.1001/jama.298.9.1010>.
- Mulla ZD, Aranda JH, Rojas D, Kupesic Plavsic S. Statistical Methods Useful in Clinical Simulation and Medical Education Scholarship. *Marshall J Med*. 2019 [дата звернення 20 трав. 2026];5(4):8. <https://doi.org/10.33470/2379-9536.1243>.
- Rincón EHH, Jimenez D, Aguilar LAC, Flórez JMP, Tapia ÁER, Peñuela CLJ. Mapping the use of artificial intelligence in medical education: a scoping review. *BMC Med Educ*. 2025 [Accessed 20 May 2026];25(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-025-07089-8>.
- (World Health Organization – WHO). *Strengthening countries' capacities to adopt and adapt evidence-based guidelines: a handbook for guideline contextualization*. Geneva, Switzerland ; 2023. 72 p.



©2026

Микола Гарас




Надійшла до редакції 11 травня 2026р.
Прийнята до друку 05 червня 2026р.
Опубліковано на сайті 17 червня 2026р.

УДК 378.147.091.33-027.22:004.946.5]-057.875-054.6

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.III.1](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.III.1)

Переваги та труднощі впровадження варіантів сценаріїв віртуальних пацієнтів очима студентів-іноземців (результати анонімного опитування)

Микола Гарас

 [0000-0001-7304-2090](https://orcid.org/0000-0001-7304-2090) @: garas.mykola@bsmu.edu.ua

Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна

Ключові слова:

медична освіта;
віртуальні пацієнти;
кейс-метод;
проблемно-орієнтоване
навчання;
студенти-іноземці.

Анотація

У статті представлено результати анонімного опитування студентів-іноземців щодо ефективності використання різних варіантів сценаріїв віртуальних пацієнтів у процесі проблемно-орієнтованого навчання на випускних курсах додипломного етапу підготовки професіоналів медичної галузі. Метою дослідження було вивчення переваг і труднощів застосування лінійних та розгалужених сценаріїв віртуальних пацієнтів у формуванні клінічного мислення, професійних компетентностей і навичок прийняття рішень у майбутніх лікарів.

За результатами опитування встановлено, що найбільш значущими перевагами використання віртуальних сценаріїв студенти вважали реалістичність клінічних ситуацій, безпечність освітнього середовища, можливість розвитку клінічного мислення, практичну спрямованість навчання, а також формування навичок самостійного прийняття рішень. Важливими позитивними аспектами також визначено командний характер роботи, можливість проведення професійної дискусії та міждисциплінарний підхід до аналізу клінічних випадків. Встановлено, що розгалужені сценарії більшою мірою сприяли розвитку автономності студентів, аргументованого відстоювання власної позиції та відповідальності за прийняті клінічні рішення, тоді як лінійні сценарії забезпечували більш структуровану групову взаємодію.

Серед основних труднощів респонденти відзначали дефіцит анамнестичних і лабораторних даних у кейсах, нетиповість окремих клінічних ситуацій,

Цитування:

Гарас М. Переваги та труднощі впровадження варіантів сценаріїв віртуальних пацієнтів очима студентів-іноземців (результати анонімного опитування). *Природничі, математичні науки та освіта в медицині* 1 (4) 2026 71-81

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.III.1](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.III.1)




складність досягнення консенсусу під час групового обговорення, а також недостатній рівень комунікативних навичок для ведення аргументованої дискусії. Водночас незначна частка студентів вказувала на дефіцит базових знань, що може свідчити про достатній рівень попередньої професійної підготовки випускників.

Отримані результати підтверджують доцільність інтеграції сценаріїв віртуальних пацієнтів у сучасний освітній процес як ефективного інструменту формування клінічного мислення, професійної рефлексії та практичних компетентностей майбутніх лікарів. Водночас оптимальним підходом є поєднання симуляційних технологій з традиційними формами клінічної підготовки.

Advantages and difficulties of virtual patient scenarios implementation in the eyes of international students (results of anonymous survey)

Mykola Haras

 [0000-0001-7304-2090](https://orcid.org/0000-0001-7304-2090) @: garas.mykola@bsmu.edu.ua

Bukovinian State Medical University, Chernivsti, Ukraine

Keywords:

*medical education;
virtual patients;
case method;
problem-based learning;
international students*

Abstract

The article shows the results of an anonymous survey of international students on the effectiveness of virtual patient scenarios implementation as the process of problem-based learning at the final courses of the undergraduate training of medical professionals. The purpose of the study was to analyze the advantages and difficulties of using linear and branched virtual patient scenarios in the development of clinical thinking, professional competencies and decision-making skills of future doctors. The survey results showed that the most significant advantages of virtual scenarios were considered by students to be the realism of clinical situations, the safety of the educational environment, the possibility of clinical thinking developing, the practical focus of training, as well as the formation of independent decision-making skills. The team work, the development of professional discussions and an interdisciplinary approach to the analysis of clinical cases. It was found that branched scenarios contributed to a greater extent to the development of students' autonomy, reasoned defense of their own position and responsibility for the clinical decisions made, while linear scenarios provided for more structured group interaction. Among the main difficulties, respondents noted the lack of anamnestic and laboratory data in cases, the difficulty of reaching consensus during group discussion, as well as an insufficient level of communication skills for conducting a reasoned discussion. At the same time, a small part of students indicated a lack of basic knowledge, which may indicate a sufficient level of previous professional training of graduates.

The results confirm the feasibility of integrating virtual patient scenarios into the modern educational process as an effective tool for the formation of clinical thinking, professional reflection and practical competencies of future doctors. At the same time, the optimal approach is to combine simulation technologies with traditional forms of clinical training.

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

Перелік скорочень:

COVID-19 - COronaVirus Disease 2019

TAME «Training Against Medical Error» навчання щодо уникнення лікарських помилок

UDCR «Ukraine Digital – Clinical Reasoning in Medical Education. Curriculum Mapping and Virtual Patients» - Україна Цифрова. Клінічне мислення в медичній освіті.

Зміст

Вступ	73
Матеріали та методи	76
Результати та їх обговорення	76
Висновки	80
Список використаних джерел	81

Вступ

Сучасна наукова освіта робить акцент на активній участі здобувачів у процесі навчання через дослідження та має на меті навчити їх формулювати питання, висувати гіпотези та знаходити власні докази. У результаті цього освітня парадигма зазнала змін. Навчання більше не є процесом передачі знань від вчителя до учня. Воно має адаптуватися до епохи глобалізації, формуючи у здобувачів навички, необхідні у XXI столітті. Однією з таких навичок є здатність критично мислити. Концепцію критичного мислення необхідно досліджувати через основні концепції мислення. Дослідження показують, що критичне мислення є життєво важливим для успіху в навчанні, а також в інноваціях на робочому місці [1].

Мислення – це розумовий процес обдумування та прийняття рішень щодо дій та розмов. Мислення відрізняється від критичного мислення. Критичне мислення не є синонімом хорошого мислення, але це повсюдне, самокоригуюче людське явище. Критичне мислення визначається як інтерпретація, аналіз, оцінка, цілеспрямоване, саморегульоване судження, що призводить до висновків, а також як таке, що базується на доказах. Як альтернатива, є пояснення контексту-

ального мислення. Занепокоєння щодо встановлення суворих та раціональних стандартів судження та необхідності забезпечення міцної основи для переконань та дій як ключових принципів є зрозумілим. Критичне мислення описується як раціональне, вдумливе мислення, зосереджене на вирішенні питання [1, 2].

Навички критичного мислення можна розвивати за допомогою навчальних моделей. Існує багато моделей, які можна використовувати для розвитку навичок критичного мислення, але, особливо, варто відзначити моделі навчання на основі досліджень, моделі опанування на основі проєктів та моделі навчання, що базуються на зусиллях. Одним із кроків, які можна використовувати для відпрацювання навичок критичного мислення, є використання моделі проблемно-орієнтованого навчання. Вказаний підхід дозволяє здобувачам краще пов'язувати свою освіту з реальними ситуаціями. Модель проблемно-орієнтованого навчання допомагає здобувачам краще пов'язувати те, що вони вивчили, з реальними проблемами, вона є стратегією навчання, яка надає пріоритет досягненням здобувачів над інструкціями фасилітатора [1-3].

Модель проблемно-орієнтованого

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

навчання – це підхід до навчання, який ставить здобувачів у центр навчання, пропонуючи справжні та складні проблеми, які вони повинні вирішувати спільно та має на меті заохотити здобувачів розвивати критичне мислення, навички вирішення проблем і творчість. Модель проблемно-орієнтованого навчання надає здобувачам можливості досліджувати, збирати та аналізувати дані для вирішення проблем, з якими вони стикаються. Завдяки моделі проблемно-орієнтованого навчання здобувачі активно думають, спілкуються, шукають та аналізують дані, а потім роблять висновки. Модель проблемно-орієнтованого навчання надає пріоритет процесу навчання, щоб здобувачі мали основні здібності для оптимального розвитку. Здатність до критичного мислення – це інтелектуальна навичка, яка дуже важлива у повсякденному житті та освіті. Вона включає здатність ретельно аналізувати інформацію, розуміти різні точки зору та приймати обґрунтовані рішення [4].

Проблемно-орієнтоване навчання ґрунтується на вирішенні проблемних ситуацій, за допомогою яких здобувачі значно розвивають свої когнітивні навички, сприяють спільній роботі, набувають навичок автономного навчання та культивують такі цінності, як відповідальність, співпраця та відданість істині. Проблемно-орієнтоване навчання виникло в галузі медичної освіти в 1960-х роках як освітній проєкт, що передбачав формування студентських груп, яким було доручено аналізувати представлені проблеми та керувати власним навчанням, тим самим зменшуючи важливість запам'ятовування концепцій та зосереджуючись на активній участі студентів у формулювання відкритих питань і проблем, які спонукали вирішувати їх через творчий процес. На сучасному етапі проблемно-орієнтоване навчання рекомендують як педагогічну страте-

гію для трансформації вищої освіти, яка вийшла за межі університетської освіти та стала одним із найважливіших методів активного навчання, що використовується в загальній базовій освіті [5-7].

Використання моделі проблемно-орієнтованого навчання може покращити концептуальне розуміння, застосування знань та навичок у вирішенні проблем у наближених до реальних ситуаціях, а також підвищити мотивацію студентів. У цьому контексті необхідні подальші дослідження для з'ясування чинників, які визначають результативність моделей проблемного навчання. Такі чинники, як роль учителя-фасилітатора, розробка завдань-кейсів, технологічна підтримка та характеристики самих здобувачів можуть впливати на ефективність цієї моделі у покращенні результатів навчання [8].

До ключових характеристик проблемно-орієнтованого навчання належить його актуальність, що визначається залученням здобувачів освіти до виконання комплексних проєктів, спрямованих на розвиток творчого мислення, самостійності та професійних компетентностей, а також на практичне застосування теоретичних знань, умінь і навичок. Важливою ознакою цього підходу є міждисциплінарний характер навчання, який передбачає інтеграцію знань із різних навчальних дисциплін для ефективного виконання поставлених завдань і розв'язання професійно орієнтованих проблем. Проблемно-орієнтоване навчання також характеризується комплексним підходом до вирішення завдань, що полягає у спільному дослідженні складних проблемних ситуацій, аналізі та узагальненні навчального й самостійно опрацьованого матеріалу з метою визначення оптимальних шляхів вирішення та можливих альтернативних рішень. Мотиваційна спрямованість навчального процесу є важливою складовою, адже забезпечує формування стійкого інтересу студентів до навчання,

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

розвиток потреби у самоосвіті та професійному самовдосконаленні через надання можливості самостійного вибору, контролю власної діяльності та взаємодії з іншими учасниками освітнього процесу. Однією з характеристик проблемно-орієнтованого навчання є його практична спрямованість і реалістичність, що виявляється у виконанні завдань і проєктів, актуальних для сучасного суспільства, науки та професійної діяльності. Важливе значення має орієнтація на співпрацю, яка передбачає колективне виконання завдань, спільне розв'язання складних проблем і формування партнерської взаємодії між студентами та викладачем. Крім того, проблемно-орієнтоване навчання сприяє створенню позитивного освітнього середовища завдяки стимулюванню пізнавальної активності студентів, розвитку їхньої автономності та забезпеченню свободи вибору у процесі навчальної діяльності [8-9].

У сфері охорони здоров'я як командно-орієнтоване навчання, так і проблемно-орієнтоване навчання наголошують на колективному практичному навчанні для вирішення реальних проблем у сфері охорони здоров'я та клінічних проблем. Розроблене для медичної освіти на початку 1960-х років, проблемно-орієнтоване навчання передбачає формування невеликих груп здобувачів освіти, які працюють разом для вирішення складних, багатогранних проблем, подібних до тих, що, зазвичай, зустрічаються в медичних закладах [9].

Основна увага в проблемно-орієнтованому навчанні приділяється розвитку критичного мислення, комунікативних та лідерських навичок, необхідних для ефективного надання медичних послуг. Учасники беруть участь в активному

навчанні, досліджуючи, обговорюючи та пропонуючи рішення клінічних задач під спостереженням фасилітатора із мінімізованим викладацьким втручанням. Такий підхід не лише оптимізує теоретичні знання, але й сприяє командній роботі, прийняттю рішень та здатності застосувати концепції в практичних ситуаціях, що має вирішальне значення для успішного менеджменту пацієнтів у динамічній та складній сфері медичних послуг.

Освіта в галузі охорони здоров'я під час пандемії COVID-19 зіткнулася з труднощами. Традиційно освіта в галузі охорони здоров'я функціонувала за клінічною моделлю, тобто навчання та робота в клініці. Швидкий перехід до онлайн-навчання створив як передбачувані, так і унікальні виклики. Впровадження онлайн-навчання передбачувано ускладнювалося обмеженням досвідом роботи освітніх кадрів в онлайн-методології. Проблемно-орієнтоване навчання в охороні здоров'я було адаптовано з використанням знайомих методів тематичних досліджень у вигляді клінічних кейсів, але вже у вигляді сценаріїв віртуальних пацієнтів. Віртуальне середовище створювало певні об'єктивні труднощі у підтримці ефективної комунікації та динаміки команди. Попри окремі складнощі в імплементації, зазначені вимушені тенденції розширили сферу освітніх можливостей у вигляді розширення глобальних перспектив та створюючи можливості для транскордонної співпраці, оскільки з подібними проблемами в сфері медичної освіти зіткнулися фахівці в усьому світі. Таким чином, пандемія підкреслила важливість гнучкості, стійкості та інновацій у командних підходах та підходах, заснованих на вивченні основ медицини, в освіті в галузі охорони здоров'я [10-12].

Мета роботи - провести аналіз особливостей впровадження сценаріїв віртуальних пацієнтів у підготовці іноземних здобувачів 5-6 курсів медичного університету.

Матеріали та методи

Для аналізу використано результати анонімного анкетування 65 студентів – громадян Індії, які навчаються англійською мовою на 5-6 курсах медико-фармацевтичного факультету спеціальності «Медицина» освітнього ступеня «магістр» Буковинського державного медичного університету, відібраних методом випадкової вибірки. Критеріями входження до когорти були вибір студентами-іноземцями елективних дисциплін з елементами впровадження сценаріїв віртуальних пацієнтів на платформах OpenLabyrinth та Casus та добровільна згода на участь в анонімному опитуванні. Критеріями виключення вважалось відсутність згоди на участь в анонімному опитуванні. Використовувалися сценарії віртуальних пацієнтів (клінічні кейси-випадки), впроваджені в рамках попередньої участі університету в грантових проєктах TAME «Training Against Medical Error» - навчання щодо уникнення лікарських помилок (за підтримки програми Європейського Союзу Еразмус+) та UDCR «Ukraine Digital – Clinical Reasoning in Medical Education. Curriculum Mapping and Virtual Patients» - Україна Цифрова. Клінічне мислення в медичній освіті. Картування навчальних програм та віртуальні пацієнти (фінансується Німецькою службою академічних обмінів). На попередніх курсах студенти не мали досвіду опрацювання сценаріїв віртуальних пацієнтів зазначеного типу.

У роботі використовувалися 2 види схем оригінальних клінічних випадків

Результати та їх обговорення

Враховуючи, що основними цілями проєкту TAME є вивчення найбільш розповсюджених медичних помилок у діагностиці та лікуванні захворювань дитячого віку, а також впровадження інноваційних методів педагогіки для покращення підготовки студентів з розповсюдженням освітніх ресурсів по типу проблемно-

англійською мовою – розгалужені (з можливістю учасниками вибору варіантів наступних дій на платформі OpenLabyrinth) та нерозгалужені (лінійні – з порівнянням власного варіанту наступної дій та пропонуваного оптимального варіанту авторами кейсу без можливості вибору на платформі Casus). Усі учасники опитування мали можливість працювати з обома типами клінічних кейсів. Заняття відбувалися в академічних групах з можливістю опрацювати як мінімум по 2 сценарії віртуальних пацієнтів на кожній із зазначених вище платформ.

Використані анкети, що склалися з 15 комбінованих питань з множинним вибором (можливість наводити 1-3 варіантів відповіді), а також окремі питання з можливістю зазначення свого варіанту – напіввідкритого типу, з висвітленням позитивних аспектів та труднощів під час впровадження сценаріїв віртуальних пацієнтів обох типів на обох платформах. Відповіді запитань напіввідкритого типу аналізували з наступним групуванням за семантичною схожістю.

Результати опитування аналізували використовуючи методи описової статистики. Для оцінки статистичної значущості відмінностей між показниками використовували критерій Стюдента (t). Для порівняння відносних величин застосовували метод кутового перетворення Фішера (ϕ). За вірогідну різницю приймали різницю при $p < 0,05$.

орієнтованого навчання, спрямованих на мінімізацію лікарських помилок, відповіді студентів дискретно відображали вказані 2 цілі. Відповіді також охоплювали цілі проєкту UDCR стосовно підвищення рівня цифрових компетенцій викладачів та студентів медичних університетів, що сприятиме вдосконален-

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

ню навчальних підходів, адаптованих до сучасних потреб охорони здоров'я, а також створення стійкої освітньої системи, яка може функціонувати в умовах криз, та розробка навчальних програм, які враховують цифрову трансформацію медичної освіти і надають підтримку як викладачам, так і студентам.

На відміну від традиційних підходів, що здебільшого передбачають засвоєння знань через лекційні заняття та позааудиторну самостійну роботу, проблемно-орієнтоване навчання реалізується переважно у форматі практичних занять у малочисельних групах. Освітній процес організовується у вигляді керованої викладачем-тьютором дискусії, що сприяє активному залученню студентів до аналізу навчального матеріалу. Скорочення обсягу прямих інструкцій у межах цього підходу зумовлює підвищення рівня відповідальності здобувачів освіти за власні результати навчання. При цьому функції викладача трансформуються: він виступає як експерт з досліджуваної пробле-

матики, фасилітатор у роботі з інформаційними ресурсами та консультант у процесі виконання групових завдань. Важливою складовою проблемно-орієнтованого навчання є активне використання інформаційно-комунікаційних технологій. Їх інтеграція в освітній процес забезпечує підвищення ефективності подання навчального матеріалу, розширює можливості пошукової діяльності під час виконання проєктних завдань, а також сприяє візуалізації фактів і результатів дослідницької роботи.

За результатами анкетування встановлено, що до основних переваг використання сценаріїв віртуальних пацієнтів респонденти віднесли (Рис. 1.) командний формат роботи, можливість проведення відкритої професійної дискусії, реалістичність клінічних ситуацій, а також мультидисциплінарний різноплановий підхід до аналізу віртуального пацієнта, що сприяє розвитку клінічного мислення та професійної компетентності. Важливими позитивними аспектами студенти також

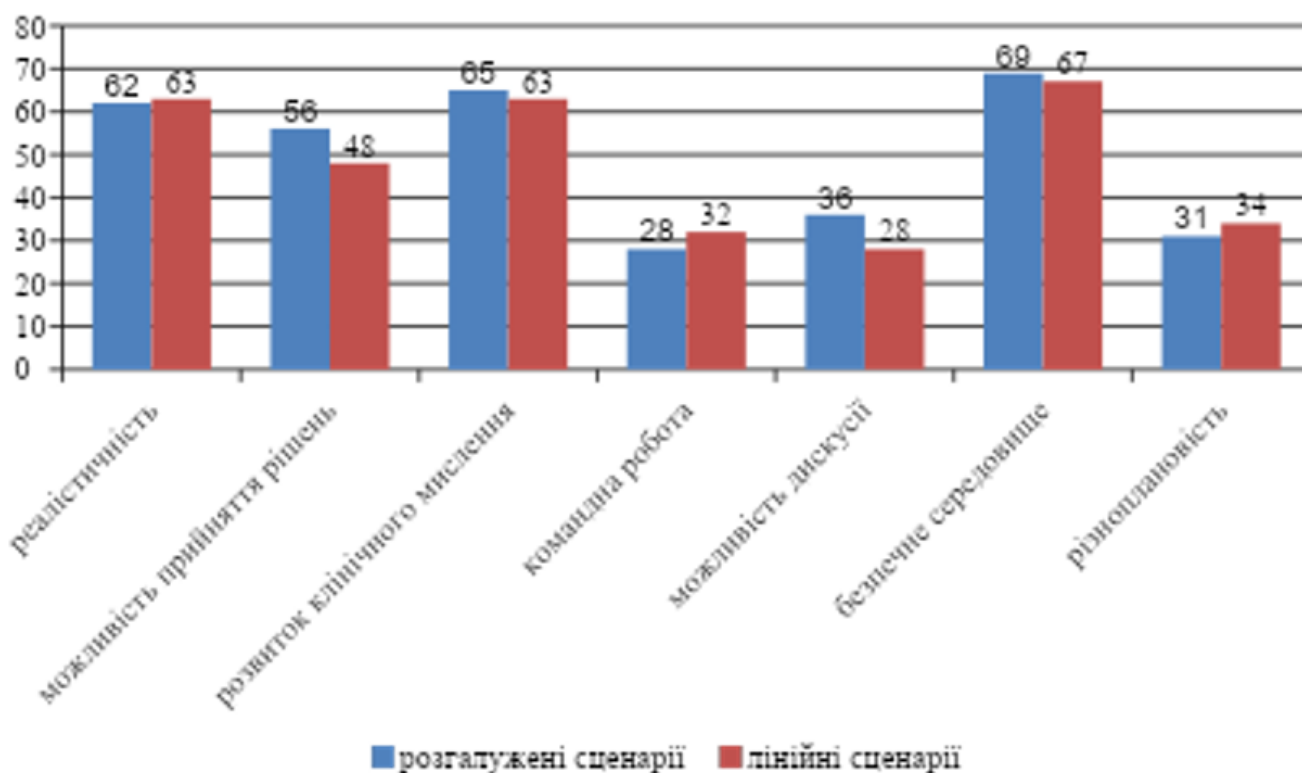


Рис. 1. Основні переваги сценаріїв віртуальних пацієнтів (% відповідей)

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

визначили можливість самостійного прийняття рішень у безпечному середовищі й подальшого аналізу їх адекватності в умовах моделювання клінічної практики.

Поряд із загальними позитивними оцінками, дискретний аналіз відповідей студентів груп порівняння дозволив виявити певні відмінності у сприйнятті ефективності різних форматів сценаріїв віртуальних пацієнтів, водночас, слід зауважити, що вірогідної статистичної різниці при вказаному аналізі не встановлено. Зокрема, за реалістичністю та практичною спрямованістю обидва формати кейсів виявилися рівнозначними, що свідчить про однакове сприйняття клінічної наближеності обох варіантів представлення сценарію. Аналогічна тенденція спостерігається щодо формування клінічного мислення у безпечному середовищі, де обидва типи сценаріїв отримали найвищі оцінки, що підкреслює їх високу освітню цінність у контексті формування клінічних компетентностей без ризику для пацієнта.

Водночас розгалужені сценарії демонструють вищі показники за параметрами можливості прийняття рішень та дискусії, що вказує на їх більший потенціал у розвитку самостійності студентів, критичного мислення та активної професійної взаємодії в процесі навчання. Натомість лінійні сценарії отримали дещо вищі оцінки за критеріями командної роботи та різноплановості й мультидисциплінарності, що може свідчити про їх ефективність у формуванні узгодженої групової взаємодії та більш структурованого сприйняття навчального матеріалу.

У цілому, отримані дані свідчать про диференційовану педагогічну ефективність обох типів сценаріїв: розгалужені кейси є більш сприятливими для розвитку автономності та клінічного мислення, тоді як лінійні сценарії забезпечують кращі умови для структурованої командної взаємодії та організова-

ного засвоєння навчального матеріалу.

Основними труднощами роботи зі сценаріями віртуальних пацієнтів студенти-іноземці визначали необхідність високого рівня самостійності, що потребує сформованих навичок критичного мислення, аналізу інформації та прийняття клінічних рішень в умовах обмеженого часу й неповних даних. Для частини здобувачів освіти (22, 33,8%) складність може становити адаптація до активних форм навчання, які передбачають значно більшу особисту відповідальність порівняно з традиційними методами викладання. Додатковими труднощами використання сценаріїв віртуальних пацієнтів є значне когнітивне навантаження на студентів, зумовлене необхідністю одночасного аналізу великого обсягу клінічної інформації, інтерпретації результатів обстежень та вибору оптимальної тактики ведення пацієнта. Це може спричиняти труднощі у студентів із недостатнім рівнем попередньої теоретичної підготовки.

Важливим обмеженням для невеликої когорти учасників освітнього процесу з числа іноземних громадян є також недостатній рівень цифрової компетентності (11, 15,4%), що може ускладнювати ефективне використання спеціалізованих платформ і симуляційних технологій. Крім того, на думку третини опитаних (22, 33,8%) віртуальний варіант клінічних ситуацій не завжди дозволяє повною мірою відтворити емоційні, комунікативні та етичні аспекти взаємодії з реальним пацієнтом. Крім того, частина студентів може демонструвати зниження рівня емоційного залучення через відсутність реального контакту з пацієнтом, що певною мірою обмежує формування емпатії, навичок міжособистісної взаємодії та здатності до комплексного сприйняття психоемоційного стану хворого. Тобто ще однією проблемою є ризик зниження рівня безпосередньої клінічної комунікації, оскільки віртуальне

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

моделювання не здатне повністю замінити практичний досвід роботи. З цим же пов'язана обмежена можливість відпрацювання практичних мануальних навичок, на що звертали увагу чверть респондентів (18, 27,6%), оскільки віртуальні сценарії переважно орієнтовані на розвиток клінічного мислення та алгоритмів прийняття рішень, але не забезпечують повноцінного формування технічних навичок виконання медичних маніпуляцій.

Більшість учасників вказувала на складнощі, пов'язані зі змістовними характеристиками самих кейсів, зокрема недостатністю анамнестичних та лабораторних даних (34, 52,3%), а також нетиповістю клінічних випадків (30, 46,1%), що, певне, відображало адаптованість сценаріїв до особливостей організації надання допомоги у країні створення сценарію. Окремо відзначено проблеми, пов'язані з недостатнім рівнем комунікативних навичок випускників, зокрема труднощі у веденні коректної та аргументованої дискусії (17, 24,6%), що певною мірою впливало на відсутність консенсусного характеру прийняття клінічних рішень.

Попри наявні об'єктивні труднощі, більшість респондентів висловилися на користь розширення впровадження проблемно-орієнтованого навчання на випускному курсі (56, 86,2%), як у форматі часткової заміни традиційних методів навчання, так і в їх поєднанні, що свідчить про, загалом, позитивне сприйняття даної освітньої технології. У зв'язку з цим найбільш ефективним вважається поєднання симуляційних технологій з традиційними формами клінічної підготовки, що забезпечує комплексний розвиток професійних компетентностей майбутніх медичних працівників.

Таким чином, у процесі реалізації кейс-методу під час розв'язання професійно орієнтованих завдань формується широкий спектр загальних і фахових компетентностей. Зокрема, удосконалюються

комунікативні компетентності, що проявляються у здатності чітко формулювати та аргументовано відстоювати власну позицію, критично аналізувати висловлювання інших учасників дискусії, здійснювати конструктивний обмін думками та добирати обґрунтовані контраргументи.

Використання сценаріїв віртуальних пацієнтів також сприяє розвитку презентаційних умінь і навичок, необхідних для структурованого подання інформації, публічного представлення результатів аналізу та ефективної професійної комунікації. Одночасно відбувається формування впевненості у власних професійних можливостях, здатності приймати рішення та нести відповідальність за їх наслідки. Важливим результатом застосування кейсів є розвиток навичок раціональної поведінки в умовах інформаційної невизначеності, що особливо актуально під час вирішення комплексних професійних проблем. Такий підхід сприяє формуванню аналітичного мислення, уміння працювати з неповними або суперечливими даними та приймати обґрунтовані рішення в нестандартних ситуаціях.

Крім того, у процесі аналізу кейсів удосконалюються експертно-аналітичні компетентності, необхідні для оцінювання ефективності професійної діяльності персоналу, визначення сильних і слабких сторін управлінських або клінічних рішень, а також прогнозування можливих наслідків їх реалізації.

Суттєве значення має розвиток рефлексивних умінь, що забезпечують здійснення самооцінки, самоконтролю та подальшої корекції індивідуального стилю професійної взаємодії й поведінки. Одночасно формуються навички партнерської взаємодії та співробітництва, які передбачають здатність ефективно працювати в команді, досягати консенсусу та реалізовувати спільну діяльність у професійному середовищі. Відтворення максимально наближених до реаль-

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

них клінічних ситуацій за допомогою технології віртуальних пацієнтів підвищує навчальну мотивацію, активізує пізнавальну діяльність, сприяє розвитку критичного мислення, емоційного інтелекту та практичних навичок майбутніх лікарів. Крім того, застосування таких технологій забезпечує більш ефективне досягнення програмних результатів навчання, формує системний підхід до розв'язання клінічних завдань і створює умови для практичного застосування теоретичних знань у професійно орієнтованих ситуаціях. Це, своєю чергою, сприяє розвитку професійних якостей, клінічного мислення та особистісних компетентностей здобувачів медичної освіти.

Водночас, можна відмітити окремі об'єктивні труднощі імплементації сценаріїв віртуальних пацієнтів на різних етапах, зокрема, складність створення якісних сценаріїв віртуальних пацієнтів, оскільки розробка реалістичних клінічних

кейсів потребує значних часових ресурсів, міждисциплінарної співпраці та участі фахівців із медичної освіти, клінічної практики й інформаційних технологій. Суттєвим чинником є також висока ресурсомісткість впровадження таких технологій, що потребує фінансових витрат на придбання та підтримку програмного забезпечення, оновлення цифрових платформ, навчання викладачів і технічний супровід освітнього процесу. Не менш важливим аспектом є необхідність постійного оновлення сценаріїв відповідно до сучасних клінічних протоколів, доказової медицини та змін у стандартах надання медичної допомоги, що потребує систематичної методичної та експертної роботи. Додаткові труднощі пов'язані з технічними аспектами, зокрема потребою у стабільному доступі до мережі Інтернет, сучасному програмному забезпеченні та відповідному технічному оснащенні.

Висновки

Таким чином, використання сценаріїв віртуальних пацієнтів створює умови для безпечного формування клінічних компетентностей студентів, надаючи можливість аналізувати та виправляти помилки без ризику для реального пацієнта. Моделювання негативних наслідків медичної допомоги сприяє усвідомленню майбутніми фахівцями професійної відповідальності, водночас мінімізуючи ймовірність психологічного стресу, який може виникнути в реальній клінічній практиці.

Водночас віртуальне навчання не слід розглядати як повноцінну альтернативу традиційній клінічній підготовці. Незважаючи на значний потенціал цифрових технологій, вони не здатні повністю замінити навчання безпосередньо в клініці. У зв'язку з цим найбільш ефективним підходом можна вважати інтеграцію віртуальних симуляційних технологій з традиційними методами клінічного навчання, що забезпечує комплексність і практичну спрямованість освітнього процесу.

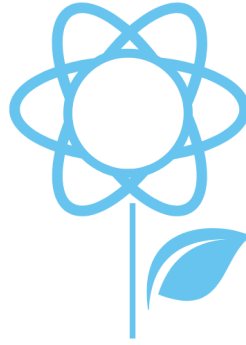
Перспективи подальших досліджень полягають в аналізі переваг та труднощів упровадження сценаріїв віртуальних пацієнтів на післядипломному етапі медичної освіти, зокрема, під час первинної спеціалізації в інтернатурі та вторинної спеціалізації за профілями з порівнянням отриманих даних.

Конфлікт інтересів

Автор декларує відсутність фінансових або інших конфліктів інтересів, які могли вплинути на результати, інтерпретацію та висновки дослідження.

Список використаних джерел

1. Anggraeni DM, Prahani B, Suprpto N, Shofiyah N, Jatmiko B. Systematic Review of Problem Based Learning Research in Fostering Critical Thinking Skills. *Think Ski Creat. Трав. 2023* [дата звернення 5 черв. 2026];101334. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2023.101334>.
2. Liu Y, Pásztor A. Effects of problem-based learning instructional intervention on critical thinking in higher education: A meta-analysis. *Think Ski Creat. 2022* [дата звернення 5 черв. 2026];45:101069. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101069>.
3. Susanti M, Suyanto S, Jailani J, Retnawati H. Problem-based learning for improving problem-solving and critical thinking skills: A case on probability theory course. *J Educ Learn (EduLearn). 2023* [дата звернення 5 черв. 2026];17(4):507-525. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v17i4.20866>.
4. Islamiati A, Fitria Y, Sukma E, Yaswinda, Fitria E, Oktari ST. The Influence of The Problem Based Learning (PBL) Model and Learning Style on the Thinking Abilities. *J Penelit Pendidik IPA. 2024* [дата звернення 5 черв. 2026];10(4):1934-1940. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i4.6219>.
5. Gonzalez-Argote J, Castillo-González W. Problem-Based Learning (PBL), review of the topic in the context of health education. *Semin Med Writ Educ. 2024* [дата звернення 5 черв. 2026];3:57. <https://doi.org/10.56294/mw202457>.
6. Trullàs JC, Blay C, Sarri E, Pujol R. Effectiveness of problem-based learning methodology in undergraduate medical education: a scoping review. *BMC Med Educ. 2022* [дата звернення 5 черв. 2026];22(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-022-03154-8>.
7. Alreshidi NAK, Lally V. The effectiveness of training teachers in problem-based learning implementation on students' outcomes: a mixed-method study. *Humanit Soc Sci Commun. 2024* [дата звернення 5 черв. 2026];11(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-024-03638-6>.
8. Abdurahman A, Asfahani A, Sudarwati N, Warwer F, Asrijal A. The influence of problem-based learning model on students' learning outcomes. *Int J Trends Math Educ Res. 2023* [дата звернення 5 черв. 2026];6(3):247-255. <https://doi.org/10.33122/ijtmer.v6i3.226>.
9. Eskola EL. Information literacy of medical students studying in the problem-based and traditional curriculum. *Inf Researc. 2005*;10(2):120-135.
10. Alexander ES, White AA, Varol A, Appel K, Lieneck C. Team- and Problem-Based Learning in Health Services: A Systematic Literature Review of Recent Initiatives in the United States. *Educ Sci. 2024* [дата звернення 5 черв. 2026];14(5):515. <https://doi.org/10.3390/educsci14050515>.
11. Lin PH, Huang LR, Lin SH. Why teaching innovation matters: Evidence from a pre- versus peri-COVID-19 pandemic comparison of student evaluation data. *Front Psychol. 2022* [дата звернення 5 черв. 2026];13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.963953>.
12. Suartama IK, Triwahyuni E, Suranata K. Context-Aware Ubiquitous Learning Based on Case Methods and Team-Based Projects: Design and Validation. *Educ Sci. 2022* [дата звернення 5 черв. 2026];12(11):802. <https://doi.org/10.3390/educsci12110802>.



©2026
Тетяна Рева,
Раїса Стус



Надійшла до редакції 18 травня 2026р.
Прийнята до друку 05 червня 2026р.
Опубліковано на сайті 17 червня 2026р.

УДК 378.147:616-057.875:378.6:61

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.III.2](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.III.2)

Концептуалізація природничо-наукових знань у процесі формування клінічного мислення під час вивчення внутрішньої медицини

Тетяна Рева

 [0000-0003-0035-1655](https://orcid.org/0000-0003-0035-1655) [@:tetiana.reva.med@bsmu.edu.ua](mailto:tetiana.reva.med@bsmu.edu.ua)

Раїса Стус

[@:stus.raisa.med@bsmu.edu.ua](mailto:stus.raisa.med@bsmu.edu.ua)

Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна

Ключові слова:

клінічне мислення;
внутрішня медицина;
медична освіта;
проблемно-орієнтоване
навчання;
симуляційне навчання.

Анотація

Розвиток клінічного мислення у здобувача медичної освіти є одним з ключових завдань медичних педагогів у сучасних умовах. Воно формує здатність майбутніх медичних фахівців чітко визначати клінічні проблеми, встановлювати відповідний діагноз, обрати оптимальну тактику лікування та прогнозувати перебіг захворювання. У цьому сенсі процес набуває особливої значущості в галузі внутрішньої медицини, що охоплює широкий спектр патологічних ситуацій, спираючись на міждисциплінарні знання та розвиток основ професійної практики лікаря.

Підготовка висококваліфікованих медичних працівників залишається одним з найважливіших завдань системи охорони здоров'я України, а її ключовим елементом є клінічне мислення, що належить до найбільш загальних, базисних та вихідних понять медицини. Основи клінічного мислення починають закладатися ще на початкових етапах навчання в університеті при вивченні загальних медичних дисциплін, що в подальшому є підґрунтям для вивчення клінічних дисциплін. На практичних заняттях широко застосовуються різноманітні сучасні методики навчання. Поєднання різних методик сприяє не лише формуванню клінічного мислення, а й має безпосередній вплив як на творче, так і на критичне мислення, які є складовими професійного мислення, притаманного медичним працівникам.

У статті висвітлюються сучасні підходи розвитку клінічного мислення студентів у процесі вивчення внутрішньої медицини. Розглядається внесок су-

Цитування:

Рева Т, Стус Р. Концептуалізація природничо-наукових знань у процесі формування клінічного мислення під час вивчення внутрішньої медицини. *Природничі, математичні науки та освіта в медицині* 1 (4) 2026 82-91

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.III.2](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2026.4.III.2)




часних освітніх методів (проблемно-орієнтоване навчання, обговорення клінічних випадків, симуляційні технології, методи кейсів, стандартизовані пацієнти, міждисциплінарна інтеграція та доказова медицина) у розвиток аналітичних, діагностичних та прогностичних навичок. Успішне формування клінічного мислення можливе за умов поєднання теоретичної та практичної підготовки, активного залучення студентів до клінічного аналізу та безпосередньої практики з реальними пацієнтами. Навички критичного мислення, клінічного прийняття рішень та професійної відповідальності є основними компетентностями, які формуються у процесі здобуття медичної освіти. Важливою умовою підготовки сучасного лікаря є міждисциплінарна інтеграція природничих та клінічних наук.

Сучасні педагогічні технології сприяють якісній підготовці майбутніх лікарів і забезпечують конкурентоспроможність випускників медичних університетів на міжнародному рівні.

Conceptualization of natural science knowledge in the process of developing clinical thinking during the study of internal medicine

Tetiana Reva

 [0000-0003-0035-1655](https://orcid.org/0000-0003-0035-1655) [@:tetiana.reva.med@bsmu.edu.ua](mailto:tetiana.reva.med@bsmu.edu.ua)

Raisa Stus

[@:stus.raisa.med@bsmu.edu.ua](mailto:stus.raisa.med@bsmu.edu.ua)

Bukovinian State Medical University, Chernivsti, Ukraine

Keywords:

*clinical thinking;
internal medicine;
medical education;
problem-based learning;
simulation training*

Abstract

The development of clinical thinking in medical students is one of the key objectives of medical educators in contemporary educational settings. It enables future healthcare professionals to accurately identify clinical problems, establish an appropriate diagnosis, select the optimal treatment strategy, and predict the course of disease. In this regard, the process assumes particular importance in the field of internal medicine, which encompasses a broad spectrum of pathological conditions and relies on interdisciplinary knowledge while fostering the fundamental competencies required for professional medical practice.

The education of highly qualified healthcare professionals remains one of the foremost priorities of Ukraine's healthcare system. Central to this process is the development of clinical thinking, which constitutes one of the core competencies in medical practice. The foundations of clinical thinking begin to form during the early stages of medical education through the study of basic medical sciences, which provide the theoretical framework for subsequent clinical training. A variety of contemporary teaching methods are employed during practical classes. The integration of these educational approaches not only facilitates the development of clinical thinking but also promotes creative and critical thinking, both of which are essential components of effective clinical reasoning and professional decision-making in healthcare practice.

This article examines contemporary approaches to developing clinical thinking in students during the study of internal medicine. It considers the contribution of modern educational methods (problem-based learning, clinical case discussions, simulation technologies, case-based methods, standardized patients, interdisciplinary integration, and evidence-based medicine) to the development of analytical, di-

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

agnostic, and prognostic skills. Successful cultivation of clinical thinking is contingent upon a combination of theoretical and practical training, active student engagement in clinical analysis, and direct exposure to real patients. Critical thinking, clinical decision-making, and professional accountability constitute the core competencies developed throughout medical education. Interdisciplinary integration of the natural and clinical sciences is an essential condition for preparing the contemporary physician.

Modern pedagogical technologies contribute to the high-quality training of future doctors and ensure the international competitiveness of graduates from medical universities.

Зміст

Вступ	84
Основна частина	85
Висновки	90
Список використаних джерел	91

Вступ

Сучасна система медичної освіти спрямована не лише на передачу теоретичних знань, а й на формування професійної компетентності майбутнього лікаря, основою якої є клінічне мислення. Саме клінічне мислення забезпечує здатність лікаря правильно інтерпретувати симптоми, аналізувати патогенетичні механізми захворювання, проводити диференційну діагностику та приймати обґрунтовані клінічні рішення.

Особливого значення набуває проблема формування професійної спрямованості майбутніх лікарів, яка включає не лише професійні знання та навички, але й мотивацію, етичні цінності та гуманістичне ставлення до пацієнтів. Природничі дисципліни, такі як медична біологія, медична/біологічна хімія, медична/біологічна фізика, відіграють важливу роль у підготовці майбутніх медиків і є базисом для клінічної медицини. Вони формують фундаментальні знання важливі для медичної практики, пояснюючи молекулярні та клітинні механізми хвороб, вплив ліків на організм та принципи роботи медичного обладнання, перетворюючи симптоматичне лікування на точну, доказову науку. Недостатнє використання потенціалу природничих дисциплін

у формуванні професійної спрямованості може призводити до низької мотивації майбутніх медиків і недостатньої готовності до професійної діяльності, що підкреслює актуальність цієї проблеми.

“Внутрішня медицина” є однією з провідних клінічних дисциплін, що формує професійне становлення майбутнього лікаря. Вона інтегрує знання з анатомії та патологічної анатомії, нормальної та патологічної фізіології, фармакології, лабораторної діагностики та інших дисциплін. Саме під час вивчення внутрішньої медицини студент навчається системному аналізу клінічних ситуацій та набуває навичок лікарського мислення.

Актуальність проблеми зумовлена необхідністю вдосконалення підходів до викладання внутрішньої медицини в умовах реформування медичної освіти, впровадження компетентного підходу та орієнтації на міжнародні стандарти підготовки лікарів.

Розвиток клінічного мислення потребує поєднання теоретичної підготовки з практичною діяльністю, використання сучасних освітніх технологій, клінічних розборів, ситуаційних задач та симуляційного навчання. Сформоване клінічне мислення визначає якість майбутньої

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

професійної діяльності лікаря, його здатність до самостійного аналізу клінічних випадків та прийняття ефективних діагностичних і лікувальних рішень.

Дисципліна “Внутрішня медицина” створює оптимальні умови для формування клінічного мислення, оскільки охоплює широкий спектр захворювань,

що вимагають комплексного підходу до оцінки стану пацієнта. У процесі навчання студенти опановують навички збору анамнезу, проведення фізикального обстеження, інтерпретації результатів лабораторних та інструментальних досліджень, а також побудови алгоритмів діагностики та лікування.

Мета дослідження:

- аналіз сучасних підходів до формування клінічного мислення студентів під час вивчення внутрішньої медицини та визначення найбільш ефективних педагогічних технологій, що сприяють розвитку професійної компетентності майбутнього лікаря;
- дослідження ролі внутрішньої медицини у формуванні клінічного мислення здобувачів медичної освіти на основі знань з природничих дисциплін;
- аналіз основних чинників, що впливають на цей процес та визначення шляхів його вдосконалення в умовах сучасної медичної освіти.

Основна частина

Для аналізу використано результати анонКлінічне мислення належить до найзагальніших, первинних і базових понять медицини, на основі яких будується медична наука і, відповідно, здійснюється професійна діяльність медичних працівників. Існує кілька визначень цього поняття, які характеризують його як особливий тип професійного мислення, властивий працівникам сфери охорони здоров'я та заснований на поєднанні теоретичних знань, практичних навичок і застосування власного досвіду в турботі про здоров'я пацієнтів [1, 2]. Таким чином, те, як медичні працівники «мислять», стикаючись з клінічною проблемою, є важливим елементом ефективної клінічної діяльності [3]. Формування клінічного мислення починається вже під час навчання та вдосконалюється в процесі професійної діяльності [1, 4]. Клінічне мислення є складним ін-

телектуальним процесом, який включає збір, аналіз та інтерпретацію клінічної інформації, формування діагностичних гіпотез, оцінку ризиків, вибір лікувальної тактики та прогнозування результатів лікування [5, 6].

Його структура включає:

- аналітичне мислення;
- синтетичне мислення;
- логічне обґрунтування;
- клінічну інтуїцію;
- критичне мислення;
- здатність до диференційної діагностики;
- прийняття клінічних рішень.

Клінічне мислення не формується виключно шляхом засвоєння теоретичного матеріалу. Воно потребує постійного поєднання теорії з практикою, аналізу клінічних випадків, роботи з пацієнтами та самостійного прийняття рішень під контролем викладача.

Роль внутрішньої медицини у формуванні клінічного мислення

Внутрішня медицина охоплює захворювання серцево-судинної, дихальної, травної, ендокринної, сечовидільної та інших систем, що вимагає від студента комп-

лексного підходу до оцінки стану пацієнта.

Особливістю дисципліни є необхідність:

- аналізу скарг та анамнезу;

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

- фізикального обстеження;
- інтерпретації лабораторних та інструментальних методів дослідження;
- проведення диференційної діагностики;
- формування попереднього та клінічного діагнозу;

Проблемно-орієнтоване навчання

Одним із найбільш ефективних методів формування клінічного мислення є проблемно-орієнтоване навчання. Його сутність полягає у вирішенні студентами клінічних ситуацій, наближених до реальної лікарської практики [7, 8]. Проблемно-орієнтоване навчання відрізняється від проблемно-вирішуючого навчання в першу чергу тим, що необхідний багаж знань набувається в процесі розв'язання проблеми, а не подається в реферативній формі перед її постановкою. Таким чином, сукупність теоретичних знань здобувачі освіти отримують у процесі розв'язання проблеми одночасно з опануванням потрібних для цього практичних навичок [9-11].

Проблемно-орієнтоване навчання сприяє:

- активізації самостійного мислення;
- розвитку клінічної логіки;
- формуванню навичок пошуку доказової інформації;
- розвитку командної роботи;
- удосконаленню навичок клінічного обговорення.

Студент не отримує готову відповідь, а самостійно формує алгоритм діагностичного пошуку, що значно підвищує рівень професійної підготовки.

Для правильного формування завдань із проблемно-орієнтованого навчання

Клінічний розбір пацієнтів

Проведення клінічних розборів на кафедрі внутрішньої медицини, клінічної фармакології та професійних хвороб сприяє не лише засвоєнню нових професійних знань, розвитку ключових навичок аналітичного мислення, етики і комунікації, а й розвитку вмінь роботи в команді, спільного аналізу клінічних випадків і прийняття обґрунтованих рішень. Безпосередня ро-

- призначення лікування відповідно до сучасних клінічних рекомендацій.

Саме на цьому етапі студент переходить від академічного засвоєння інформації до формування професійного клінічного мислення.

слід обирати кейси, які відповідають навчальній програмі з дисципліни, добре корелюють із проблемами з майбутньої професійної діяльності й водночас вимагають від студента-медика розробки стратегії щодо розв'язання проблеми, спонукають до самостійного отримання нової інформації та, з іншого боку, вимагають прийняти певні рішення в умовах нестачі вичерпних даних щодо проблеми [12].

Важливою умовою ефективності проблемно-орієнтованого навчання є правильно організована роль викладача, який виступає не джерелом готових відповідей, а модератором навчального процесу, що спрямовує студентів у процесі пошуку рішень. Такий підхід змінює традиційну модель навчання, орієнтуючи її на активну пізнавальну діяльність здобувачів освіти та розвиток їхньої здатності до самонавчання.

Крім того, проблемно-орієнтоване навчання сприяє поступовому переходу від засвоєння окремих знань до формування інтегрованого клінічного мислення, в основі якого лежить здатність аналізувати інформацію в умовах невизначеності, формулювати обґрунтовані гіпотези та приймати клінічні рішення відповідно до сучасних медичних стандартів. Такий формат навчання наближує освітній процес до реальних умов лікарської практики.

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

бота з пацієнтом залишається основою формування клінічного мислення [13, 14]. Клінічний розбір дозволяє студенту:

- збирати анамнез;
- провести фізикальне обстеження;
- оцінювати симптоми та синдроми;
- формувати діагностичні гіпотези;
- обґрунтовувати клінічний діагноз;
- визначати лікувальну тактику [11].

Саме біля ліжка хворого формується професійне бачення лікаря, яке неможливо повністю замінити жодними цифровими технологіями. Для кращого засвоєння набутих теоретичних знань з внутрішньої медицини особливо цікавим є клінічний розбір пацієнта із коморбідною терапевтичною патологією для формування знань диференційної діагностики, а у подальшому – вмінню призначення відпо-

відної схеми фармакотерапії.

Таким чином, клінічні розбори є одним із найважливіших елементів підготовки майбутнього лікаря, оскільки поєднують теоретичні знання з реальною клінічною практикою. Вони забезпечують формування системного клінічного мислення, навичок аргументованого прийняття рішень та професійної відповідальності.

Регулярна участь у клінічних розборах сприяє глибшому розумінню патогенезу захворювань, удосконаленню діагностичного алгоритму та підвищенню ефективності вибору лікувальної тактики. Це створює основу для підготовки компетентного лікаря, здатного працювати в умовах складних і мультифакторних клінічних ситуацій.

Симуляційне навчання

Симуляційне навчання – це сучасний метод підготовки медичних фахівців, який базується на реалістичному моделюванні клінічних ситуацій, процесів або дій за допомогою тренажерів, манекенів, віртуальної реальності чи стандартизованих пацієнтів. Сучасні симуляційні технології дозволяють моделювати складні клінічні ситуації без ризику для пацієнта. Використання манекенів, симуляторів, стандартизованих пацієнтів та віртуальних клінічних сценаріїв сприяє розвитку практичних навичок і клінічного мислення [15].

Перевагами симуляційного навчання є:

- безпечність;
- можливість багаторазового повторення;
- стандартизація навчального процесу;
- контроль помилок;
- формування навичок командної роботи;
- розвиток стресостійкості.

Особливо ефективним є поєднання симуляційного навчання з подальшим клінічним аналізом допущених помилок.

Сьогодні симуляційне навчання стає обов'язковим компонентом професійної підготовки, оскільки на основі моделювання професійної діяльності надає можливість кожному студенту багаторазово виконувати елементи медичної діяльності згідно з прийнятими професійними стандартами. Впровадження етапного симуляційного навчання дозволяє майбутнім фахівцям медичної галузі ефективно освоювати теорію та практику, значно підвищує об'єктивність атестації студентів і мотивацію їх до навчання [16, 17].

Таким чином, симуляційне навчання є невід'ємною складовою сучасної медичної освіти, що забезпечує поступовий перехід від теоретичної підготовки до реальної клінічної практики. Воно створює умови для безпечного формування професійних компетентностей, дозволяє студентам відпрацьовувати алгоритми діагностики та лікування у контрольованому середовищі та мінімізує ризик помилок у реальній клінічній діяльності.

Інтеграція симуляційних технологій у процес викладання внутрішньої

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

медицини сприяє розвитку клінічного мислення, підвищенню впевненості майбутніх лікарів у власних діях та формуванню готовності до роботи в умовах

невизначеності та високої відповідальності. Це робить симуляційне навчання одним із ключових елементів компетентнісної моделі підготовки лікаря.

Кейс-метод як інструмент розвитку клінічного мислення

Кейс-метод передбачає аналіз конкретних клінічних ситуацій, що базуються на реальних або змодельованих випадках із практики внутрішньої медицини. Його застосування дозволяє студентам не лише відтворювати теоретичні знання з природничих дисциплін, а також вміти адаптувати їх до конкретної клінічної ситуації.

Під час роботи з клінічним кейсом студент:

- аналізує симптоми та синдроми;
- формує перелік можливих діагнозів;
- визначає необхідний обсяг додаткових досліджень;
- проводить диференційну діагностику;
- обґрунтовує остаточний клінічний діагноз;
- визначає лікувальну тактику;
- прогнозує можливі ускладнення.

Після аналізу кейсів проводиться обговорення, яке дозволяє учасникам поділитися своїми думками, отримати зворотний зв'язок та вдосконалити свої навички. Це дозволяє поєднати теоретичні знання із практичним досвідом, що робить навчання ефективнішим і реалістичним. Особливо важливим є те, що

кейс-метод формує не лише клінічне, а й комунікативне, етичне та деонтологічне мислення майбутнього лікаря [11, 18].

Кейс-метод сприяє розвитку аналітичних здібностей студентів, навчає працювати з клінічною інформацією в умовах, максимально наближених до реальної лікарської практики та формує навички прийняття обґрунтованих рішень. Важливою перевагою цього методу є можливість розглядати клінічні ситуації з різних позицій, враховуючи індивідуальні особливості пацієнта, супутню патологію та можливі ризики лікування.

Застосування кейс-методу під час вивчення внутрішньої медицини підвищує мотивацію студентів до навчання, сприяє активній взаємодії між учасниками освітнього процесу та формує готовність до самостійної професійної діяльності. Таким чином, аналіз клінічних випадків є одним із найбільш ефективних інструментів розвитку клінічного мислення майбутнього лікаря та підготовки його до вирішення складних діагностичних і лікувальних завдань.

Значення доказової медицини

У сучасних умовах формування клінічного мислення неможливе без принципів доказової медицини. У сучасному світі якісне лікування базується на принципах доказової медицини – підходу, який використовує тільки науково підтверджені методи діагностики та терапії. Це означає, що кожне призначене лікування ґрунтується на результатах клінічних досліджень, а не на застарілих традиціях або суб'єктивному досвіді лікаря [7]. Майбутній лікар повинен не лише знати клінічні протоколи, а й вміти критично оці-

нювати джерела інформації, аналізувати сучасні наукові публікації та застосовувати отримані дані у практичній діяльності.

Вивчення внутрішньої медицини на основі доказової медицини сприяє:

- формуванню критичного мислення;
- відмові від шаблонного підходу;
- підвищенню якості клінічних рішень;
- зниженню ризику лікарських помилок;
- підвищенню безпеки пацієнта.

Саме тому викладач повинен формувати у студентів навички роботи з міжнародними клінічними рекомендаціями,

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

систематичними оглядами та метааналізами. Під час вивчення внутрішньої медицини студенти мають можливість проводити науково-пошукову роботу в якості індивідуальної самостійної роботи [9, 19] і публікувати огляди сучасної літератури з актуальної проблеми у наукових журналах під керівництвом викладачів.

Участь у науково-дослідній діяльності сприяє розвитку навичок пошуку, аналізу та критичної оцінки наукової інформації, що є невід'ємною складовою клінічного мислення сучасного лікаря. Робота з науковими джерелами дозволяє студентам ознайомлюватися з новітніми досягненнями медичної науки, оцінювати ефективність

Міждисциплінарна інтеграція

Однією з основних умов формування клінічного мислення є міждисциплінарна інтеграція. Міждисциплінарна інтеграція – це цілеспрямоване об'єднання знань, методів та підходів із різних навчальних дисциплін для формування цілісного розуміння професійних явищ, стимулювання пізнавальної активності та підготовки фахівців, здатних вирішувати комплексні завдання. Внутрішня медицина потребує активного використання знань із фундаментальних природничих наук – анатомії, фізіології, біохімії, патофізіології, мікробіології, фармакології тощо. Наприклад:

- розуміння патогенезу артеріальної гіпертензії неможливе без знань фізіології серцево-судинної системи;
- інтерпретація кислотно-лужних порушень потребує знань біохімії;
- вибір антибактеріальної терапії базується на мікробіології та клінічній фармакології [20].

Саме інтеграція природничих і клінічних дисциплін дозволяє сформувати цілісне клінічне мислення, а не фрагментарне запам'ятовування окремих фактів. Реалізація міждисциплінарних зв'язків у навчальній діяльності – це один із необхідних дидактичних засобів формування

різних методів діагностики та лікування, а також формувати здатність приймати обґрунтовані клінічні рішення відповідно до принципів доказової медицини.

Таким чином, впровадження принципів доказової медицини у процес викладання внутрішньої медицини забезпечує формування у майбутніх лікарів навичок безперервного професійного розвитку, критичного аналізу медичної інформації та застосування найкращих наукових доказів у клінічній практиці. Це є важливою передумовою підвищення якості медичної допомоги та забезпечення безпеки пацієнтів.

в студентів професійних знань і навичок. Важливо, щоб навчальна інформація, засвоєна під час вивчення інших дисциплін, не повторювалась, а використовувалася для мотивації навчальної діяльності студентів, актуалізації опорних знань, умінь і навичок, обґрунтування, з'ясування сутності явищ, моделювання процесів.

Зв'язок внутрішньої медицини з природничими науками забезпечує наукове підґрунтя для розуміння механізмів розвитку захворювань та прийняття клінічних рішень. Анатомія формує уявлення про будову органів і систем, біофізика та фізіологія пояснюють закономірності їх функціонування в нормі, а патофізіологія розкриває механізми виникнення патологічних змін. Біохімія дозволяє зрозуміти метаболічні процеси, що лежать в основі багатьох захворювань, а мікробіологія сприяє вивченню етіологічних чинників інфекційних хвороб. Фармакологія, своєю чергою, забезпечує знання про механізми дії лікарських засобів, їх ефективність та безпечність, а медична фізика – розуміння лабораторних та інструментальних методів діагностики та терапевтичної дії фізичних чинників.

Важливе значення має також інте-

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

грація внутрішньої медицини з імунологією, генетикою та молекулярною біологією. Сучасні досягнення цих наук дозволяють глибше зрозуміти патогенез аутоімунних, онкологічних, спадкових та інших захворювань, а також сприяють розвитку персоналізованої медицини. Використання міждисциплінарного підходу допомагає студентам не лише засвоювати окремі факти, а й встановлювати причинно-наслідкові

зв'язки між різними біологічними процесами та клінічними проявами хвороб.

Таким чином, міждисциплінарна інтеграція природничих і клінічних наук є важливою складовою підготовки майбутнього лікаря, оскільки сприяє розвитку аналітичного мислення, формуванню професійних компетентностей та здатності застосовувати набуті знання для вирішення реальних клінічних завдань.

Роль викладача у формуванні клінічного мислення

Викладач внутрішньої медицини виконує не лише інформаційну, а й наставницьку функцію. Саме від педагогічної майстерності викладача залежить здатність студента перейти від теоретичних знань до клінічного аналізу.

Ефективний викладач повинен:

- стимулювати самостійне мислення;
- формувати клінічну логіку;
- навчати алгоритмам діагностичного пошуку;
- демонструвати професійне клінічне мислення;
- створювати умови для активного навчання;
- формувати професійну відповідальність [21].

Особливе значення має метод «навчання через запитання», коли викладач не дає готову відповідь, а спрямовує студента до самостійного клінічного висновку.

Формування клінічного мислення є тривалим і багатокомпонентним процесом, який потребує системного підходу. Вивчення внутрішньої медицини створює найбільш сприятливі умови для розвитку професійного лікарського мислення, оскільки саме ця дисципліна поєднує фундаментальні знання з реальною клінічною практикою.

Ефективність навчального процесу значно підвищується при використанні сучасних педагогічних технологій: проблемно-орієнтованого навчання, симуляційних методів, клінічного розбору пацієнтів, кейс-методу, доказової медицини та міждисциплінарної інтеграції.

Формування клінічного мислення не може бути епізодичним процесом – воно повинно бути системною складовою всього освітнього процесу в медичному університеті.

Висновки

1. Клінічне мислення є основою професійної компетентності майбутнього лікаря та визначає якість діагностичного і лікувального процесу.

2. Внутрішня медицина є провідною дисципліною у формуванні клінічного мислення студентів завдяки поєднанню теоретичних знань і практичної клінічної діяльності.

3. Найбільш ефективними методами розвитку клінічного мислення є проблемно-орієнтоване нав-

чання, клінічний розбір пацієнтів, кейс-метод, симуляційне навчання та використання принципів доказової медицини.

4. Важливою умовою підготовки сучасного лікаря є міждисциплінарна інтеграція природничих та клінічних наук.

5. Подальше вдосконалення медичної освіти повинно бути спрямоване на впровадження інноваційних педагогічних технологій та підвищення практичної спрямованості навчання.

Рекомендації для розвитку наукового напрямку та практичної медицини

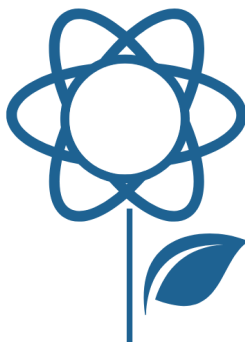
Доцільним є подальше вивчення ефективності різних моделей формування клінічного мислення в умовах сучасної медичної освіти, а також розробка стандартизованих підходів до оцінки рівня сформованості клінічного мислення студентів. Перспективним напрямком є інтеграція цифрових освітніх технологій, симуляційних платформ, телемедичних кейсів та штучного інтелекту у процес викладання внутрішньої медицини.

Конфлікт інтересів

Автори декларують відсутність фінансових або інших конфліктів інтересів, які могли вплинути на результати, інтерпретацію та висновки дослідження.

Список використаних джерел

1. Bobukh VV, Andreiko SS, Bilanova LP, Bilash VP, Olinichenko YO, Shkolna OV, Bilash SM. Clinical thinking as an important element of effective professional activity of the future medical worker. *Bull Probl Biol Med.* 2023;1(1):233. <https://doi.org/10.29254/2077-4214-2023-1-168-233-239>.
2. Gruppen L. Clinical Reasoning: Doing It, Teaching It, Assessing It, Studying It. *West J Emerg Med.* 2017; 18(1):4-7. <https://doi.org/10.5811/westjem.2016.11.33191>.
3. Croskerry P. Clinical cognition and diagnostic error: applications of a dual process model of reasoning. *Adv Health Sci Educ.* 2009; 14(S1):27-35. <https://doi.org/10.1007/s10459-009-9182-2>.
4. Eva KW. What every teacher needs to know about clinical reasoning. *Med Educ.* 2005;39(1):98-106. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2004.01972.x>.
5. Charlin B, Tardif J, Boshuizen HPA. Scripts and Medical Diagnostic Knowledge. *Acad Med.* 2000;75(2):182-190. <https://doi.org/10.1097/00001888-200002000-00020>.
6. Kassirer JP, Wong JB, Kopelman RI. *Learning Clinical Reasoning*. 2-ге вид. Філадельфія: Lippincott Williams & Wilkins; 2010. 324 с.
7. Schmidt HG, Mamede S. How to improve the teaching of clinical reasoning: a narrative review and a proposal. *Med Educ.* 2015;49(10):961-973. <https://doi.org/10.1111/medu.12775>.
8. Prince KJAH, Boshuizen HPA, van der Vleuten CPM, Scherpbier AJJA. Students' opinions about their preparation for clinical practice. *Med Educ.* 2005; 39(7):704-712. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2005.02207.x>.
9. Cook DA, Artino AR. Motivation to learn: an overview of contemporary theories. *Med Educ.* 2016; 50(10):997-1014. <https://doi.org/10.1111/medu.13074>.
10. Norman G. Research in clinical reasoning: past history and current trends. *Med Educ.* 2005; 39(4):418-427. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2005.02127.x>.
11. Kassirer JP. Teaching Clinical Reasoning: Case-Based and Coached. *Acad Med.* 2010; 85(7):1118-1124. <https://doi.org/10.1097/acm.0b013e3181d5dd0d>.
12. Sayyah M, Shirbandi K, Saki Malehi A, et al. Effectiveness of Problem-Based Learning (PBL) in Clinical Reasoning Development Among Internal Medicine Students. *BMC Med Educ.* 2021;21:293. doi:10.1186/s12909-021-02722-6.
13. Spencer J. ABC of learning and teaching in medicine: Learning and teaching in the clinical environment. *BMJ.* 2003; 326(7389):591-594. <https://doi.org/10.1136/bmj.326.7389.591>.
14. Irby DM. Teaching and learning in ambulatory care settings. *Acad Med.* 1995; 70(10):898-931. <https://doi.org/10.1097/00001888-199510000-00014>.
15. Chernikova O, Heitzmann N, Fink MC, et al. Simulation-Based Learning in Higher Education: A Meta-Analysis on the Facilitation of Clinical Reasoning. *Educ Psychol.* 2021;56(1):21-41. doi:10.1080/00461520.2020.1841072.
16. Yardley S, Teunissen PW, Dornan T. Experiential learning: Transforming theory into practice. *Med Teach.* 2012; 34(2):161-164. <https://doi.org/10.3109/0142159x.2012.643264>.
17. Anders Ericsson K. Deliberate Practice and Acquisition of Expert Performance: A General Overview. *Acad Emerg Med.* 2008; 15(11):988-994. <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2008.00227.x>.
18. Banning M. Clinical reasoning and its application to nursing: Concepts and research studies. *Nurse Educ Pract.* 2008; 8(3):177-183. <https://doi.org/10.1016/j.nepr.2007.06.004>.
19. Djulbegovic B, Guyatt GH. Progress in evidence-based medicine: a quarter century of impact on clinical reasoning. *Lancet.* 2021;397(10279):1119-1129. doi:10.1016/S0140-6736(21)00225-1.
20. Brauer DG, Ferguson KJ. Interdisciplinary integration of fundamental sciences and internal medicine: a necessity for clinical reasoning. *Med Sci Educ.* 2015;25(3):341-349. doi:10.1007/s40670-015-0144-x.
21. Cutrer WB, Gruppen LD, Pusic MV. The role of the clinical educator in fostering master adaptive learners and reasoning skills. *Acad Med.* 2021;96(8):1104-1111. doi:10.1097/ACM.0000000000004120.



Керівництво для авторів журналу *Природничі, математичні науки та освіта в медицині*

Зміст

Вимоги до подання	92
Вимоги до оформлення статей	93
Мова статей	93
Тематичні напрямки	93
Види публікацій	93
Обсяг статті	93
Технічні параметри	94
Порядок розміщення матеріалу	94
Список використаних джерел	95
Перевірка на плагіат	95
Декларація про використання генеративного штучного інтелекту	95
Положення про авторські права	95
Положення про конфіденційність	96
Процес рецензування	96

Вимоги до подання

- Під час подання рукопису до журналу автори повинні підтвердити його відповідність всім встановленим вимогам, вказаним нижче. В разі виявлення невідповідності поданої роботи пунктам цих вимог редакція повертатиме авторам матеріали на доопрацювання.
- Це подання раніше не було опубліковане і не було надіслано на розгляд до редакцій інших журналів (або вкажіть пояснення у коментарях для редактора).
- Файл подання є документом у форматі Microsoft Word, OpenOffice, RTF або WordPerfect.
- Веб-посилання у тексті супроводжуються повними коректними адресами URL.
- Текст набраний 12-м розміром кеглю з міжрядковим інтервалом 1,5; авторські акценти виділені курсивом, а не підкресленням (всюди, крім адрес URL); всі ілюстрації, графіки та таблиці розміщені безпосередньо у тексті, там, де вони повинні бути за змістом (а не у кінці документу).
- Текст відповідає вимогам щодо стилістики та бібліографії, викладеним у цьому Керівництві для авторів

Вимоги до оформлення статей

Мова статей

До розгляду приймаються статті **українською** та **англійською** мовами.

У статтях українською мовою слід **дублювати англійською** мовою такі елементи:

- назва статті,
- інформація про авторів,
- ключові слова,
- анотація
- список використаних джерел.

У статтях англійською мовою слід **дублювати українською** мовою такі елементи:

- назва статті,
- інформація про авторів,
- ключові слова,
- анотація.

Тематичні напрямки

Природничі науки в медицині.

Новітні досягнення у медицині як наслідок розвитку природничих наук

Математичні науки в медицині.

Математичне моделювання у медицині, медичні системи підтримки прийняття рішень, біостатистика

Природничі та математичні дисципліни в медичній освіті.

Психолого-педагогічні аспекти викладання природничих та математичних дисциплін у медичній освіті

Природничі та математичні науки в історії медицини.

Історія медицини у контексті розвитку і досягнень природничих наук та математики

Види публікацій

- Статті, що описують оригінальні роботи
- Аналітичні (наукові) огляди
- Матеріали конференцій
- Рецензії на книги
- Хроніки
- Лекції
- Редакційні статті

Обсяг статті

Статті, що описують оригінальні роботи	- 8-10 сторінок
Аналітичні (наукові) огляди	- 12-15 сторінок
Рецензії на книги	- 4-5 сторінок
Хроніки	- 4-5 сторінок
Лекції	- 15-20 сторінок

Керівництво для авторів
Author Guidelines

Технічні параметри

Текст статті має бути збережений у форматі doc, docx. Шрифт Times New Roman, 12 кегль, міжрядковий інтервал – 1,5, абзацний відступ – 1,25 см, всі поля – по 2,0 см.

Назва файлу має відповідати прізвищу першого автора.

Математичні та хімічні символи слід вводити до тексту статті за допомогою вбудованого редактора формул.

Рисунки слід розміщувати у тексті статті та додатково подавати у вигляді окремих файлів у форматах *.emf, *.wmf, *.jpg, *.jpeg, *.png

Формули, рисунки, таблиці слід розміщувати в основному тексті статті та нумерувати послідовно арабськими цифрами.

Порядок розміщення матеріалу

УДК

Назва статті

(українською та англійською мовами)

Ім'я та Прізвище, ORCID, email, Місце роботи

(українською та англійською мовами)

Якщо авторів декілька, відомості про кожного подати окремими рядками

Анотація

(українською та англійською мовами)

Зміст анотації має стисло й інформативно описати основні ідеї та отримані результати. Обсяг анотації статті - 1800-2000 знаків.

Ключові слова

(українською та англійською мовами)

5-8 ключових слів, розділених «;»

Основний текст статті

Текст статті повинен містити наступні розділи:

Оригінальні наукові дослідження:

- вступ
- мета і завдання дослідження
- матеріали та методи (в т.ч.статистичний аналіз)
- результати
- обговорення результатів
- висновки
- перспективи подальших досліджень

лекційні статті

- актуальність теми
- план
- вступ
- основна частина
- заключна частина;

оглядові статті

- авторське рішення викладення матеріалу
- узагальнення (або висновки)

Керівництво для авторів
Author Guidelines

- рекомендації для розвитку наукового напрямку та/або практичної медицини

Список використаних джерел

для статей **українською** мовою - **українською та англійською** мовами
для статей **англійською** мовою - **тільки англійською** мовою

- Список використаних джерел повинен бути оформлений у стилі CSE та налічувати 10-30 найменувань у залежності від виду публікації (оригінальне дослідження, науковий огляд, лекція тощо). До посилань обов'язково додавати DOI, якщо він присвоєний.
- Самоцитовання не має перевищувати 10-20% від загальної кількості вказаних джерел.
- Не менше 40% від усіх джерел мають бути посиланнями на закордонні видання, зокрема, що індексуються в наукометричних базах Scopus та/або Web Of Science.

Подяка

Зазначати назву фонду, який фінансував роботу, і номер гранту.

Конфлікт інтересів

Автори декларують наявність або відсутність фінансових або інших конфліктів інтересів, які могли вплинути на результати, інтерпретацію та висновки дослідження

Перевірка на плагіат

Всі подання проходять перевірку тексту на унікальність за допомогою програми StrikePlagiarism.

Відповідно до Положення про запобігання та виявлення академічного плагіату в освітній і науково-дослідній роботі учасників освітнього процесу та науковців Буковинського державного медичного університету, до подальшого розгляду редакція приймає подання, що мають **рівень унікальності не менше 80%**.

Декларація про використання генеративного штучного інтелекту

При поданні статті автори повинні заповнити Декларацію делегування завдань інструментам генеративного штучного інтелекту та завантажити її на платформу разом із текстом статті

Положення про авторські права

Автори, які надсилають для опублікування своїх наукових праць у цьому журналі, погоджуються з наступними умовами:

Автори залишають за собою право на авторство своєї роботи та передають журналу право першої публікації цієї роботи на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License, котра дозволяє іншим особам вільно розповсюджувати опубліковану роботу з

обов'язковим посиланням на авторів оригінальної роботи та першу публікацію роботи у цьому журналі.

Автори мають право укласти самостійні додаткові угоди щодо неексклюзивного розповсюдження роботи у тому вигляді, в якому вона була опублікована цим журналом (наприклад, розміщувати роботу в електронному сховищі установи або публікувати у складі монографії), за умови збереження посилання на першу публікацію роботи у цьому журналі.

Політика журналу дозволяє і заохочує розміщення авторами в мережі Інтернет (наприклад, у сховищах установ або на особистих веб-сайтах) рукопису роботи (препринту) як до подання цього рукопису до редакції, так і під час його редакційного опрацювання, оскільки це сприяє виникненню продуктивної наукової дискусії та позитивно позначається на оперативності та динаміці цитування опублікованої роботи.

Положення про конфіденційність

Імена та електронні адреси, вказані користувачами на сайті цього журналу, будуть використані виключно для виконання внутрішніх технічних завдань цього журналу; вони не будуть поширюватись та передаватись стороннім особам.

Процес рецензування

Кожна стаття проходить процес **подвійного сліпого рецензування** рукописів: автору та рецензенту не повідомляють імена один одного.

Статті, подані до журналу, надсилають двом незалежним експертам у галузі досліджуваної проблеми.

Метою рецензування є змістовна експертна **оцінка якості наукової статті** за такими **критеріями**:

- Наукова новизна роботи
- Актуальність роботи
- Відповідність назви статті змісту роботи
- Відповідність резюме змісту роботи
- Якість дизайну дослідження
- Якість висновків дослідження
- Викладення та оформлення тексту
- Якість таблиць, графіків, рисунків, списку літератури

Рецензенти опрацьовують матеріал та оцінюють його науковий рівень, заповнюючи «Форму рецензування», де вказують свої зауваження.

Після заповнення основної «Форми рецензування» рецензенти обирають **одну** із запропонованих **рекомендацій**:

Опублікувати, без суттєвих змін

- подання готове до публікації тому редакція приймає його до публікації без змін

Опублікувати після виправлення відповідно до незначних зауважень

- редакція приймає подання, якщо автор врахує вказані зауваження

Опублікувати після виправлення відповідно до ґрунтовних зауважень

Керівництво для авторів
Author Guidelines

- подання необхідно доопрацювати і повторно рецензувати

Відхилити

- подання не відповідає вимогам або тематиці видання

Після завершення процесу рецензування всю відповідну інформацію надсилають автору. Автор, за необхідності, доопрацьовує рукопис та завантажує його нову версію.

Рецензенти повторно розглядають доопрацьований рукопис та надають рекомендацію щодо можливості подальшої публікації.

У разі отримання негативної рецензії редакція залишає за собою право не публікувати статтю.