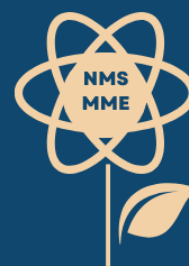

ПРИРОДНИЧІ, МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ ТА ОСВІТА В МЕДИЦИНІ



NATURAL & MATHEMATICAL SCIENCES IN MEDICINE AND MEDICAL EDUCATION

**2025
№1(2)**

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(2)2025

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 №5 від 19 грудня 2024 року

Natural & Mathematical Sciences in Medicine and Medical Education 1(2)2025

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 #5 dated by 19 December 2024



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. (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

Капуш Ольга Анатоліївна,

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

Халавка Юрій Богданович,

д.хім.н., доц., (Чернівці, Україна)

Чорноус Віталій Олександрович,

д.хім.н., проф., (Чернівці, 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

Kulchynskyi 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*

Kapush Olga,

PhD (Chemistry), Kyiv, Ukraine

Khalavka Yuriy,

Dr. Sci. (Chemistry), Chernivtsi, Ukraine

Chornous Vitalij,

Dr. Sci. (Chemistry), Chernivtsi, Ukraine



Е6 Прикладна фізика та наноматеріали

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

Applied Physics and Nanomaterials

Dubolazov Alexander,
Dr. Sci. (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)

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

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

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

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

Гринчук Федір Васильович,
д.мед.н., проф., (Чернівці, Україна)

Іванчук Павло Романович,
к.мед.н., доц., (Чернівці, Україна)

Кендзерська Тетяна, PhD (Medicine),
Assistant Professor, (Оттава, Канада)

Плеш Ігор Антонович,
д.мед.н., проф., (Чернівці, Україна)

Федів Олександр Іванович,
д.мед.н., (Чернівці, Україна)

Хемедан Ахмед, PhD, Postdoctoral researcher
in Luxembourg University, (Люксембург)

*Health and Social Security
Medicine*

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

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

Grynychuk Fedir,
Dr. Sci. (Medicine), Chernivtsi, Ukraine

Ivanchuk Pavlo,
PhD (Medicine), Chernivtsi, Ukraine

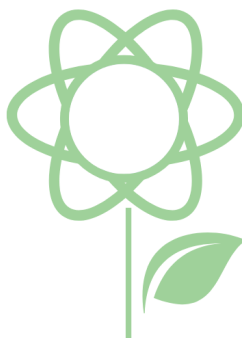
Kendzerska Tetyana, PhD (Medicine),
Assistant Professor, Ottawa, Canada

Plesh Igor,
Dr. Sci. (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>Сучасні методи діагностики та лікування в ургентній хірургії дитячого віку як результат розвитку природничих та технічних наук</u> <u>Стецкевич А., Ференчук Є. 6</u>	<u>Modern methods of diagnostic and treatment in emergency pediatric surgery as a result of the development of natural and technical sciences</u> <u>Stetskevych A., Ferenchuk Y. 6</u>
Математичні науки в медицині	Mathematical sciences in medicine
<u>Комп'ютерне моделювання діафізарного перелому при остеосинтезі титановими та сталевими пластинами з кутовою стабільністю гвинтів (англ.)</u> <u>Дудко О. 16</u>	<u>The computer modeling study of diaphyseal bone fracture after internal fixation by titanium and stainless steel plates with angular stability screws</u> <u>Dudko O. 16</u>
<u>Використання хмарних обчислень та технологій машинного навчання для аналізу та прогнозування динаміки захворюваності на прикладі COVID-19 в Україні</u> <u>Олар О., Олар Д. 27</u>	<u>Use of cloud computing and machine learning technologies for analysis and forecasting of disease dynamics based on COVID-19 trends in Ukraine</u> <u>Olar O., Olar D. 27</u>
Природничі та математичні дисципліни в медичній освіті	Natural and mathematical disciplines in medical education
<u>Розвиток та вдосконалення soft skills студентів-медиків шляхом вивчення медичної та біологічної фізики</u> <u>Федів В., Олар О. 37</u>	<u>Medical students soft skills development and improvement by studying of medical and biological physics</u> <u>Fediv V., Olar O. 37</u>
<u>Актуальні питання біофізики серця при опануванні студентами тем з кардіології</u> <u>Полянська О., Полянський І., Гулага О., Москалюк І., Спіжавка А. 50</u>	<u>Current issues of heart biophysics in study of cardiology topics by students</u> <u>Polianska O., Polianskyi I., Hulaha O., Moskaliuk I., Spizhavka A. 50</u>
<u>Керівництво для авторів 58</u>	<u>Author Guidelines 58</u>



УДК 57+616-03.616-098

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.1.1](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.1.1)

Сучасні методи діагностики та лікування в ургентній хірургії дитячого віку як результат розвитку природничих та технічних наук

Арсен Стецкевич¹

@: g4ntsy@gmail.com

Єлена Ференчук²

 [0000-0002-1928-6489](https://orcid.org/0000-0002-1928-6489) @: ferenchuck.elena@bsmu.edu.ua

¹КНП Коростенська центральна міська лікарня, Коростень

²Буковинський державний медичний університет, Чернівці

Ключові слова:

ургентна хірургія
дитячого віку;
мініінвазивна хірургія;
лапароскопія;
торакокопія.

Анотація

Світ медицини стрімко змінюється під впливом сучасних наукових тенденцій. Успіхи в розвитку природничих і технічних наук посприяли розширенню діагностичних можливостей та вдосконаленню методів дослідження та лікування в різних медичних галузях. За останні десятиріччя прагнення до поєднання наукових відкриттів, передових знань із областей природничих і технічних наук та медичних потреб призвело до стрімкого прогресу в медичній практиці, хірургічних техніках, технологіях і протоколах догляду за пацієнтами. Хірургія дитячого віку, як одна з наймолодших та найскладніших галузей медицини, розвинулася та досягає успіхів завдяки впровадженню нових високотехнологічних діагностичних та хірургічних методів.

У статті зосереджено увагу на окремих історичних аспектах розвитку сучасних напрямів дитячої хірургії, досягненнях та перспективах інноваційних методів діагностики та лікування – мініінвазивній хірургії, магнітно-резонансній та комп'ютерній томографії, іммерсивних технологіях.

Цитувати як:

Стецкевич А, Ференчук Є. Сучасні методи діагностики та лікування в ургентній хірургії дитячого віку як результат розвитку природничих та технічних наук. Природничі, математичні науки та освіта в медицині 1(2) 2025 6-15.

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.1.1](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.1.1)

Modern methods of diagnostic and treatment in emergency pediatric surgery as a result of the development of natural and technical sciences

Arsen Stetskevych¹

@: g4ntsy@gmail.com

Yelena Ferenchuk²

 ID: [0000-0002-1928-6489](https://orcid.org/0000-0002-1928-6489) @: ferenchuk.elena@bsmu.edu.ua

¹CNE Korosten Central City Hospital, Korosten, Ukraine

²Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

Keywords:

emergency pediatric surgery;
minimally invasive surgery;
laparoscopy;
thoracoscopy.

Abstract

The world of medicine is changing under the influence of modern scientific trends rapidly. The successful development of natural and technical sciences contributed to the expansion of diagnostic systems and the improvement of research and treatment methods in various medical fields. The intention to integrate scientific discovery, advanced technology, and medical needs has caused progress in medical practice, surgical techniques, technologies, and patient care protocols over the past decade. Pediatric surgery, as one of the youngest and most complex branches of medicine, has developed and achieved success due to new high-tech diagnostic and surgical methods.

The paper is focused on some historical aspects of the development of modern areas of pediatric surgery, achievements, and prospects of innovative methods of diagnosis and treatment - minimally invasive surgery, computed tomography and magnetic resonance imaging, immersive technologies.

Contents

Вступ	7
I. Матеріали та методи	8
II. Результати та обговорення	8
III. Висновки	12
Список використаних джерел	13

Перелік скорочень:

MIX - малоінвазивна хірургія

FDA - Food and Drug Administration

NOTES – natural orifice transluminal endoscopic surgery

SILS – single incision laparoscopic surgery

Вступ

Хірургія дитячого віку – одна з наймолодших галузей медицини і водночас одна із найскладніших. Ефективність діагностики та лікування хвороб у дітей різних вікових груп зростає щорічно завдяки впровадженню сучасних високотехнологічних діагностичних та хірургічних маніпуляцій, які були б неможливими без

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

проведення наукових досліджень, експертиз, створення нових підходів у діагностиці та лікуванні, вдосконалення хірургічних технік. Активне впровадження технологій у медичну сферу докорінно змінило напрямки діагностики та лікування хворих, і в сучасній науковій літературі є багато даних про успіхи розвитку дитячої хірургії та перспективи інноваційних хірургічних методів [1, 2].

Революційні досягнення комп'ютерних технологій дозволяють створювати високоінформативні діагностичні методи і принципово змінюють та вдоско-

налюють хірургічні методи, пропонуючи високотехнологічні мінімально інвазивні альтернативи традиційним відкритим операціям. Це особливо важливо для пацієнтів відділу хірургії дитячого віку завдяки зменшенню травматизму, мінімальній кількості рубців, коротшим термінам перебування в лікарні й швидшому поверненню дітей до активного способу життя.

Мета роботи – провести аналіз і систематизацію наукових джерел літератури щодо сучасних напрямів хірургії дитячого віку під впливом розвитку природничих та технічних наук.

I. Матеріали та методи

Для огляду використано дані знакукометричних баз PubMed, ScienceDirect, Web of Science, Google Scholar тощо та проведено аналіз наукових підручників і монографій. Методи дослідження — інформаційно-аналітичний та порівняльний контент-аналіз. При відборі праць із досліджуваної проблематики обирали найновіші (за останні 5 років) та історично важливі публікації.

II. Результати та обговорення

МІХ дитячого віку, як важливий та багатообіцяючий напрям, бере початок із загальної та гінекологічної хірургії дорослих [3]. Сучасна МІХ започаткована у Німеччині та зобов'язана своєю появою школі хірургів, яку очолював гінеколог Kurt Semm. Саме тоді були створені необхідні базові інструменти: інсульфлятор та електрокоагулятори, а у 1983 році лікар описав метод хірургічної пельвіскопії та набір інструментів, який дозволив виконувати класичні оперативні дії під час першої МІХ-апендектомії [4].

Історичний факт підтвердження вагомого внеску українських вчених у розвиток МІХ наведено у книзі «Ендоскопічна хірургія у дітей» [5]: згадано роботу М.А. Куш та А.Д. Тимченко 1969 року, опубліковану в журналі «Вісник хірургії імені І.І. Грекова» [6]. Це перша наукова праця про застосування лапароскопії у 106 дітей з різноманітними захворюваннями органів черевної порожнини та заочеревинного простору. Автори пересвідчилися, що ця методи-

ка має значні діагностичні можливості, а лапароскопія, як завершальний етап у клінічному обстеженні хворих з незрозумілим діагнозом, дає хороші результати й може успішно використовуватись, як один із достовірних методів обстеження.

Уже в 1970 році Тимченко А.Д. захистив кандидатську дисертацію на тему «Лапароскопія в діагностиці захворювань органів черевної порожнини та заочеревинного простору у дітей». У 1973 році, коли метод лапароскопії був відомий не кожній хірургічній спільноті Європи, в Україні було видано монографію «Лапароскопія у дітей» [7], яка стала основою для хірургів багатьох поколінь. Цього ж року, опублікувавши статтю в «Journal of Pediatric Surgery» [8], американські дитячі хірурги L. Gans та G. Bersi підтвердили важливість лапароскопії.

У 1987 році вийшов перший номер журналу «Surgical Endoscopy», а через рік провели Перший Всесвітній конгрес з хірургічної ендоскопії в Берліні. Так, у 1980-ті роки, коли технологічно стала

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

можливою передачею зображення на телеекран, у медицині з'явився не лише новий термін «відеолапароскопія», а й можливість огляду операційного поля асистентами хірурга, що дозволило застосувати для виконання операцій більше, ніж одну пару рук. Приголомшливий успіх «лапароскопічної революції» наступних років ознаменував згасання традиційної відкритої хірургії та спонукав розглянути нові перспективи методу.

У 2010 році було вперше описано досвід лапароскопічної хірургії через одиничний розріз шкіри пупка немовлят ендоскопом 4 мм під кутом 30 градусів і троакаром 5 мм, що дозволяє приховати хірургічний шрам. Вже через рік метод набув популярності та досі є актуальним. Основною проблемою описаного тоді методу була просторова орієнтація інструментів та ендоскопа в невеликому робочому просторі, яку автор корегував за допомогою поздовжньо орієнтованої робочої осі, у звичайній кутовій лапароскопічній конфігурації [9].

З появою електронних відеоскопів, невеликих інструментів та інсуфляторів, придатних для дітей, МІХ почала набувати поширення в педіатричній практиці й сьогодні відомо про успішну мініінвазивну хірургію плода, мікролапароскопію новонароджених та роботизовану хірургію [10]. Популярність використання мініінвазивних технік у дитячій хірургії впродовж останніх років тісно пов'язана зі створенням технологічного обладнання та вдосконаленням інструментів, розроблених таким чином, щоб створити безпечний доступ до маленької анатомічної порожнини дитини, забезпечити підтримку належного робочого простору і можливостей виконувати операцію з такою ж або вищою ефективністю, як і під час відкритих операцій.

Ендоскопічна хірургія — напрям МІХ, що дозволяє виконувати радикальні операції чи інвазивні діагностичні процеду-

ри без широкого розтину покривів або через природні фізіологічні отвори. Ендоскопічна хірургія охоплює аспекти оперативних втручань такі, як інтервенційна ендоскопія, ультразвукова діагностика та інші методики в ортопедії, гастроентерології, травматології, гінекології, урології, торакальній та дитячій хірургії [11]. Усе частіше метод використовується в дитячій нейрохірургії: процедура передбачає використання тонкої гнучкої трубки з прикріпленою до неї камерою, що дозволяє хірургам візуалізувати та оперувати важкодоступні ділянки мозку. Ендоскопічні процедури пропонують ряд переваг порівняно з традиційними відкритими операціями: зменшена травматизація пацієнта, коротший термін перебування в лікарні та час відновлення [12, 13].

Лапароскопія, як метод мініінвазивної хірургії, використовує тонку трубку, оснащену камерою високої чіткості для візуалізації хірургічної ділянки. Розвиток техніки дозволяє використовувати лапароскопічний підхід не лише для діагностики, а й для планових чи екстрених оперативних втручань на органах черевної порожнини та малого таза.

Діагностична лапароскопія дозволяє проникнути в уражену ділянку, оглянути детально й взяти гістологічну пробу патологічно зміненої тканини для лабораторного дослідження, застосовується в складних випадках, коли інші методи є недостатньо інформативними. Лапароскопічна апендектомія – методика, яка змінила рутинне хірургічне оперативне втручання (відкрита апендектомія) у педіатрії. Метод сприяє швидшому одужанню, зменшенню післяопераційного болю та меншому системному стресу порівняно з відкритою хірургічною операцією. Покращена візуалізація та контроль, які забезпечують методи робототехніки та лапароскопії, приводять до успішних результатів, оскільки точність має першочергове значення під час делікатних

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

педіатричних операцій [14, 15].

З розвитком природничих та технічних наук покращилися методи дисекції тканин та виконання якіснішого гемостазу за допомогою ультразвукових ножиць, що дозволяє коагулювати судини до 5 мм у діаметрі; використовувати лінійні зшивальні апарати із судинною зшивальною касетою; накладати циркулярні та лінійні анастомози за допомогою зшивальних апаратів, використовувати герметизуючі субстанції та гемостатичні матеріали тощо. Люмінесцентна лапароскопія дозволяє ідентифікувати метастатичні ураження внутрішніх органів.

Порівняно з класичним відкритим лапаротомним доступом, лапароскопічний має такі переваги: мінімальна травматизація парієтальної очеревини, мінімізація контакту сторонніх тіл, інструментів із самою раною та очеревиною. При використанні сучасних лапароскопічних технологій при накладенні пневмоперитонеума відбувається одночасне зігрівання і зволоження газу, що допомагає уникати пересихання та охолодження парієтальної та вісцеральної очеревини.

Дослідженнями в галузі природничих наук вивчаються препарати для запобігання спайок після лапароскопії/лапаротомії. Наприклад, препарати гіалуронової кислоти можуть зменшити ризик утворення спайок і запобігти погіршенню стану вже наявних спайок. Найбільш вивченим американською асоціацією FDA рідинним агентом для запобігання спайок у лапароскопічній хірургії є 4% розчин ікодекстрина, який інтраопераційно використовують як іригаційну рідину, а в кінці операції вводять у черевну порожнину для створення ефекту гідрофлотації й відмежування десерозованих поверхонь, внаслідок чого досягається ефект зниження частоти спайкового процесу, хоча ці препарати перебувають на етапах клінічних досліджень [16, 17].

Вважають, що батьком торакокопії

є Hans-Christian Jacobaeus, який у 1910 році в медичному щотижневику Мюнхена опублікував роботу про можливість використання цистоскопії при дослідженні серозних порожнин. У 1950-1960 роках, коли розвиток природничих наук сприяв впровадженню антибіотикотерапії туберкульозу, ера пневмотораксної терапії завершувалася, і лікарі, знайомі з терапевтичним застосуванням торакокопії, почали використовувати техніку для діагностики різних плевро-легеневих захворювань. У 1990-х роках досягнення технічних наук дозволили торакальним хірургам запровадити техніку MIX, відому як «хірургічна торакокопія», або «торакальна хірургія з відеоасистентом» [18].

Впродовж останнього десятиліття торакокопічну хірургію вважають найкращим хірургічним підходом для різних ургентних станів новонароджених і немовлят порівняно зі стандартною торакотомією. Торакокопія показує успішні результати при резекції легень, біопсії або резекції пухлин середостіння, корекції діафрагмальних гриж, лікування деструктивних пневмоній тощо. Нові методи, побудовані на застосуванні оптоелектронних приладів, а також осучаснені набори необхідних інструментів, дозволяють вдосконалювати техніку більшості лапароскопічних, торакокопічних та ендоскопічних операцій, об'єктивно оцінювати показання та протипоказання, проводити детальні передопераційні обстеження та сприяють розробці ще менш інвазивних процедур для дітей, таких як ендоскопічна хірургія через природні отвори (трансгастрально/вагінально, NOTES) та хірургія одного розрізу (SILS) [19].

Одним із найбільш вражаючих інноваційних досягнень MIX є інтеграція робототехніки [20-22]. У 1985 році для лікування пацієнта було вперше використано робота PUMA200, у 1990-х роках вчені розробили концепцію робота із дистан-

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

ційними маніпуляторами, якими керував лікар-хірург. Сьогодні вдосконалені роботизовані хірургічні системи в делікатній галузі дитячої хірургії надають підвищену точність та контроль: маніпуляції інструментами здійснюються через невеликі розрізи, що дозволяє при наявності стабільного інтернет-з'єднання та відповідного технічного обладнання дистанційно виконувати складні процедури з мінімальними інтраопераційними ускладненнями.

Перша операція за допомогою роботизованої системи Da Vinci була проведена в Брюсселі, у 2000 році. Ця робоча хірургічна платформа є найпоширенішою сьогодні, оскільки дає змогу виконувати хірургічні втручання, перебуваючи на значній відстані від операційного стола за спеціальною консоллю, яка повноцінно повторює рухи хірурга, відображаючи їх на інструментарії. Основне призначення робот-асистованих операцій – точність виконання скрупульозних операційних маніпуляцій, особливо в кардіохірургії, гепатобіліарній хірургії, хірургії підшлункової залози та хірургії дитячого віку.

Перевагами є 3D-простір, легкість доступу до важкодоступних місць, ергономічна позиція, точність рухів за допомогою обертання інструментів у шести напрямках. Роботизований підхід у медицині, зважаючи на постійний технологічний прогрес, має величезні перспективи для створення революції в галузі хірургії, хоча має і свої недоліки, передбачає розробку нових платформ і технологій, проведення рандомізованих клінічних досліджень застосування робототехніки, що з часом дозволить здійснити широке впровадження технології. Поєднання підвищеної точності, зниженої інвазивності та потенціалу швидшого одужання підкреслює трансформаційний потенціал робототехніки у зміні майбутнього медицини для маленьких пацієнтів. Попри такі обмеження, як вартість та розміри інструментів, переваги з погляду покращеної

хірургічної точності, мінімізації травм і коротшого часу відновлення, підкреслюють перспективу цієї галузі медицини.

Сучасні медичні дослідження складні та неможливі без застосування обчислювальної техніки. Важливими є розробки мініатюрних двигунів для різального інструменту (зовнішній діаметр цілі ~2 мм) для мініінвазивних процедур – відповідно до тенденції мініатюризації в галузі медичних пристроїв, особливо для використання в хірургії дитячого віку, адже мініатюризація багатфункціональних інструментів є ключем до розвитку менш інвазивних медичних втручання.

Дві найважливіші технології візуалізації [23], які з'явилися в хірургії дитячого віку завдяки розвитку техніки та комп'ютерних наук і суттєво вплинули на точність операцій — магнітно-резонансна томографія і комп'ютерна томографія.

Магнітно-резонансна томографія забезпечує якісне зображення м'яких тканин і органів без використання іонізуючого випромінювання, що знижує ризик для дітей, тому є важливим інструментом для діагностики та моніторингу різних педіатричних захворювань, зокрема в нейрохірургії. Комп'ютерна томографія використовує рентгенівські промені та комп'ютерні технології для створення детальних зображень внутрішніх структур тіла, забезпечує ґрунтовніше уявлення про кістки та внутрішні органи і є особливо корисною для діагностики дитячих політравм, переломів та вроджених аномалій. Обидва методи зробили революцію в галузі дитячої хірургії, надаючи розширені можливості візуалізації, дозволили встановити точні діагнози, покращили планування хірургічного втручання, зменшили дискомфорт пацієнтів і прискорили час післяопераційного відновлення дітей.

Широке використання технологій віртуальної та розширеної (доповненої) реальності у різноманітних сферах торкнулось і медичної. Результати аналі-

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

зу наукових досліджень [24, 25] свідчать про активне використання імерсивних технологій у хірургії для передопераційного планування, поліпшення результатів оперативних втручань, візуалізації медичних зображень, пояснення та розуміння складних медичних концепцій.

Імерсивні технології допомагають створювати 3D-віртуальні моделі зі сканованих медичних зображень пацієнта, з метою підвищення якості надання медичної допомоги пацієнту в режимі реального часу візуалізувати 3D-динаміку органів для високої точності проведення хірургічної операції та зниження ризиків ускладнень. Застосування у клінічній практиці технологій розширеної реальності надає додаткову інформацію лікарю під час інтервенційних процедур, доповнює хірургію віртуальним накладанням візуалізованих результатів таких обстежень, як трактографія або ангіографія та ультразвукове дослідження. Моделювання з застосуванням імерсивних технологій важливе при відпрацюванні складних процедур, наприклад, проведенні нервово-судинного хірургічного втручання.

Завдяки розвитку інформаційних технологій і сучасних комунікацій інформатизація стала частиною процесу технологічного оновлення медицини, що зумовлює зростання баз даних пацієнтів та числа програмно-технічних засобів, призначених для автоматизації різних процесів системи охорони здоров'я. Інноваційні хірургічні методи лікування та детальні вивчення метаболічних особливостей при

виникненні хвороб не тільки покращують якість життя пацієнтів, але також мають потенціал кардинально змінити спосіб лікування багатьох захворювань. Ведення електронних записів з архівами даних із медичних приладів та автоматизованих лабораторій дозволяє накопичувати й ефективно використовувати отриману інформацію на всіх стадіях лікувального процесу і є особливо цінним для розвитку та вдосконалення підходів у лікуванні найуразливіших пацієнтів – дітей.

Ургентна хірургія завжди є найскладнішою, навіть попри розвиток діагностичних досліджень. Екстреність ситуацій вимагає термінового прийняття відповідальних та правильних рішень та нерідко залежить від своєчасності. За невідкладною хірургічною допомогою звертаються з різними патологіями (кровотечі у новонароджених, гострі хірургічні захворювання органів черевної порожнини, гострий апендицит, кишкова непрохідність, інвагінація кишківника, закриті травми органів грудної клітки, черевної порожнини та заочеревинного простору, політравми). Діти різного віку відрізняються від дорослих пацієнтів своєю анатомією, фізіологією, розвитком та емоційними потребами, тому екстрена дитяча хірургія потребує особливо точної діагностики, а сучасні підходи в лікуванні допомагають обмежити перебування в лікарні або повторну госпіталізацію та, звичайно, дитячу смертність.

III. Висновки

У дитячій хірургії, як і медицині загалом, попереду ще багато нових викликів та досягнень, але основними рушіями знову будуть три фактори: технологічні зміни, інновації професіоналів та нові знання в галузі природничих наук.

Інтеграція передових технологій та здобутків природничих наук із хірургіч-

ним досвідом дозволяє досягати успіхів у діагностиці та лікуванні, гарантуючи, що пацієнти отримуватимуть найкращий догляд, адже надважливим завданням сучасної хірургії дитячого віку в Україні є пошук та застосування найефективніших шляхів збереження і відновлення здоров'я найменших пацієнтів.

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

Список використаних джерел

1. Gunadi Editorial: Current advances in pediatric surgery. *Front Surg.* 2023 [цитовано 06 черв. 2024] 21;10:1161556. doi: [10.3389/fsurg.2023.1161556](https://doi.org/10.3389/fsurg.2023.1161556).
2. Biswas SK. The Digital Era and the Future of Pediatric Surgery. *J Indian Assoc Pediatr Surg.* 2021 [цитовано 04 черв. 2024]; 26(5):279-286. doi: [10.4103/jiaps.jiaps_136_21](https://doi.org/10.4103/jiaps.jiaps_136_21).
3. Meinzer A, Alkatout I, Krebs TF, Baastrup J, Reischig K, Meiksans R, Bergholz R. Advances and Trends in Pediatric Minimally Invasive Surgery. *J Clin Med.* 2020 [цитовано 03 черв. 2024]; 10;9(12):3999. doi: [10.3390/jcm9123999](https://doi.org/10.3390/jcm9123999).
4. Semm K. Endoscopic appendectomy. *Endoscopy.* 1983 [цитовано 03 черв. 2024]; 15:59-64. doi: [10.1055/s-2007-1021466](https://doi.org/10.1055/s-2007-1021466).
5. Bax NMA, Georgeson Keith E, Najmaldin Azad S, Valla Jean-Stephane, Endoscopic surgery in children. New York: Springer-Verlag; 1999. 491 p.
6. Куш М.Л., Тимченко А.Д. Лапароскопія у дітей. *Вісн. хір.* 1969 [цитовано 03 черв. 2024]; 102 (5): 92-94.
7. Куш М. Л., Тимченко А. Д. Лапароскопія у дітей. К.: Здоров'я; 1973.136 с.
8. Gans L. Peritoneoscopy of infants and children. *J. Pediatr. Surg.* 1973 [цитовано 03 черв. 2024]; 8: 399-405. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-3468\(73\)90110-3](http://dx.doi.org/10.1016/0022-3468(73)90110-3)
9. Muensterer OJ, Adibe OO, Harmon CM, Chong A, Hansen EN, Bartle D, Georgeson KE. Single-incision laparoscopic pyloromyotomy: initial experience. *Surg Endosc.* 2010 [цитовано 03 черв. 2024]; 24(7):1589-93. doi: [10.1007/s00464-009-0816-5](https://doi.org/10.1007/s00464-009-0816-5).
10. Esposito C, Cerulo M, Lepore B, Coppola V, D'Auria D, Esposito G, Carulli R, Del Conte F, Escolino M. Robotic-assisted pyeloplasty in children: a systematic review of the literature. *J Robot Surg.* 2023 [цитовано 03 черв. 2024];17(4):1239-1246. doi: [10.1007/s11701-023-01559-1](https://doi.org/10.1007/s11701-023-01559-1)
11. Singh SS, Shinde RK. Minimally Invasive Gastrointestinal Surgery: A Review. *Cureus.* 2023 [цитовано 05 черв. 2024]; 15(11): e48864. doi: [10.7759/cureus.48864](https://doi.org/10.7759/cureus.48864).
12. Litynski GS. Endoscopic surgery: the history, the pioneers. *World J Surg.* 1999 [цитовано 05 черв. 2024]; (8):745-53. doi: [10.1007/s002689900576](https://doi.org/10.1007/s002689900576).
13. Kula R, Popela S, Klučka J, Charwátová D, Djakow J, Štourač P. Modern Paediatric Emergency Department: Potential Improvements in Light of New Evidence. *Children (Basel).* 2023 [цитовано 04 черв. 2024]; 10(4):741. doi: [10.3390/children10040741](https://doi.org/10.3390/children10040741). PMID: 37189990; PMCID: PMC10137157.
14. Laanen JHN, Litjens EJ, Snoeijs M, van Loon MM, Peppelenbosch AG. Introduction of advanced laparoscopy for peritoneal dialysis catheter placement and the outcome in a University Hospital. *Int Urol Nephrol.* 2022 [цитовано 04 черв. 2024];54(6):1391-1398. doi: [10.1007/s11255-021-03020-4](https://doi.org/10.1007/s11255-021-03020-4).
15. Gokdemir BN, Cekmen N. Laparoscopic surgery and anesthesia. *JARSS* 2023 [цитовано 04 черв. 2024]; 31(3):173-187. doi: [10.54875/jarss.2023.63496](https://doi.org/10.54875/jarss.2023.63496)
16. Chaichian S, Saadat Mostafavi SR, Mehdizadehkashi A, Najmi Z, Tahermanesh K, Ahmadi Pishkuhi M, Jesmi F, Moazzami B. Hyaluronic acid gel application versus ovarian suspension for prevention of ovarian adhesions during laparoscopic surgery on endometrioma: a double-blind randomized clinical trial. *BMC Womens Health.* 2022 [цитовано 04 черв. 2024]; 11;22(1):33. doi: [10.1186/s12905-022-01607-2](https://doi.org/10.1186/s12905-022-01607-2).
17. Vinnakota M, Bellur K, Starnes SL, Schulz MJ. Scaling a Hydraulic Motor for Minimally Invasive Medical Devices. *Micromachines (Basel).* 2024 [цитовано 04 черв. 2024]; Jan 12;15(1):131. doi: [10.3390/mi15010131](https://doi.org/10.3390/mi15010131).
18. Loddenkemper R., Mathur P.N., Lee P., Noppen M. History and clinical use of thoracoscopy/pleuroscopy in respiratory medicine *Breathe* 2011 [цитовано 07 лип. 2024]; Dec 8 (2) 144-155; doi: [10.1183/20734735.011711](https://doi.org/10.1183/20734735.011711).
19. Bawazir OA. Thoracoscopy in pediatrics: Surgical perspectives. *Ann Thorac Med.* 2019 [цитовано 04 черв. 2024]; 14(4):239-247. doi: [10.4103/atm.ATM_114_19](https://doi.org/10.4103/atm.ATM_114_19).
20. Стасишин А, Гураєвський А, Дворакевич А, Шевчук Д та ін. Роботична хірургія в Україні: перший досвід та перспектива розвитку. Шпитальна хірургія. Журнал імені Л. Я. Ковальчука. 2023 [цитовано 04 черв. 2024]; 5-10. doi: [10.11603/2414-4533.2023.1.13794](https://doi.org/10.11603/2414-4533.2023.1.13794).
21. Iacob ER, Iacob R, Ghenciu LA, Popoiu TA, Stoicescu ER, Popoiu CM. Small Scale, High Precision: Robotic Surgery in Neonatal and Pediatric Patients-A Narrative Review. *Children (Basel).* Feb 21 2024 [цитовано 06 черв. 2024];11(3):270. doi: [10.3390/children11030270](https://doi.org/10.3390/children11030270).
22. Huber MA, Robbins JM, Sebastian SM, Vu AH, Ferzli G, Schutzer R, Hingorani A. The robotic approach for vascular and endovascular procedures: a narrative review. *Annals of Laparoscopic and Endoscopic Surgery.* 2023 [цитовано 06 черв. 2024]; 8. doi: [10.21037/ales-23-24](https://doi.org/10.21037/ales-23-24)
23. Raimann M, Ludwig J, Heumann P, Rechenberg U, Goelz L, Mutze S, Schellerer V, Ekkernkamp A, Bakir MS. Whole-Body Magnetic Resonance Tomography and Whole-Body Computed Tomography in Pediatric Polytrauma Diagnostics – A Retrospective Long-Term Two-Center Study. *Diagnostics.* 2023 [цитовано 06 черв. 2024]; 13(7):1218. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13071218>
24. Shah NR, Weadock WJ, Williams KM, et al. Use of modern three-dimensional imaging models to guide surgical planning for local control of pediatric extracranial solid tumors. *Pediatr Blood*

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

- Cancer. 2024 [цитовано 06 черв. 2024];71:e30933.
<https://doi.org/10.1002/pbc.30933>
25. Gour SQ, Impact of Machine Learning Techniques in Medical Treatment Assistance in

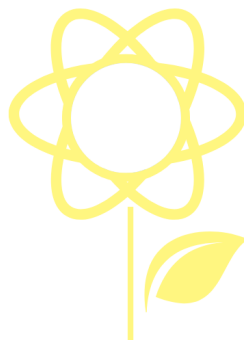
Perspective to AR & VR Technologies. E3S Web of Conferences. 2024 [цитовано 06 черв. 2024]; 491. doi: [10.1051/e3sconf/202449103006](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449103006).

References

1. Gunadi. Editorial: Current advances in pediatric surgery. Front Surg. 2023 [дата звернення 06 черв. 2024];10. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2023.1161556>.
2. Biswas S. The digital era and the future of pediatric surgery. J Indian Assoc Pediatr Surg. 2021 [дата звернення 06 черв. 2024];26(5):279. https://doi.org/10.4103/jiaps.jiaps_136_21.
3. Meinzer A, Alkatout I, Krebs TF, Baastrup J, Reischig K, Meiksans R, Bergholz R. Advances and Trends in Pediatric Minimally Invasive Surgery. J Clin Med. 2020 [дата звернення 06 черв. 2024];9(12):3999. <https://doi.org/10.3390/jcm9123999>.
4. Semm K. Endoscopic Appendectomy. Endoscopy. 1983;15(02):59–64. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021466>.
5. Bax N, Georgeson KE, Najmaldin AS, Valla JS. Endoscopic surgery in children. Springer-Verlag; 1999. 491 p.
6. Kushch NL, Timchenko AD. Laparoscopy in children. Vistn Khir Im I I Grek. 1969;102(5):92–94.
7. Kushch NL, Timchenko AD. Laparoscopy in children. Health; 1973. 136 p.
8. Gans SL, Berci G. Peritoneoscopy in infants and children. Journal of Pediatric Surgery. 1973;8(3):399–405. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-3468\(73\)90110-3](http://dx.doi.org/10.1016/0022-3468(73)90110-3).
9. Muensterer OJ, Adibe OO, Harmon CM, Chong A, Hansen EN, Bartle D, Georgeson KE. Single-incision laparoscopic pyloromyotomy: initial experience. Surg Endosc. 2009 [дата звернення 06 черв. 2024];24(7):1589–1593. <https://doi.org/10.1007/s00464-009-0816-5>.
10. Esposito C, Cerulo M, Lepore B, Coppola V, D'Auria D, Esposito G, Carulli R, Del Conte F, Escolino M. Robotic-assisted pyeloplasty in children: a systematic review of the literature. J Robot Surg. 13 берез. 2023 [дата звернення 06 черв. 2024]. <https://doi.org/10.1007/s11701-023-01559-1>.
11. Singh SS, Shinde RK. Minimally Invasive Gastrointestinal Surgery: A Review. Cureus. 15 листоп. 2023 [дата звернення 06 черв. 2024]. <https://doi.org/10.7759/cureus.48864>.
12. Litynski GS. Endoscopic Surgery: The History, the Pioneers. World J Surg. 1999 [дата звернення 19 берез. 2025];23(8):745–753. <https://doi.org/10.1007/s002689900576>.
13. Kula R, Popela S, Klučka J, Charwátová D, Djakow J, Štourač P. Modern Paediatric Emergency Department: Potential Improvements in Light of New Evidence. Children. 2023 [дата звернення 06 черв. 2024];10(4):741. <https://doi.org/10.3390/children10040741>.
14. van Laanen JHH, Litjens EJ, Snoeijs M, van Loon MM, Peppelenbosch AG. Introduction of advanced laparoscopy for peritoneal dialysis catheter placement and the outcome in a University Hospital. Int Urol Nephrol. 18 жовт. 2021 [дата звернення 06 черв. 2024]. <https://doi.org/10.1007/s11255-021-03020-4>.
15. Gokdemir BN, Cekmen N. Laparoscopic Surgery and Anesthesia. J Anesthesiol Reanim Spec Soc. 2023 [дата звернення 06 черв. 2024];31(3):173–187. <https://doi.org/10.54875/jarss.2023.63496>.
16. Chaichian S, Saadat Mostafavi SR, Mehdizadehkashi A, Najmi Z, Tahermanesh K, Ahmadi Pishkuhi M, Jesmi F, Moazzami B. Hyaluronic acid gel application versus ovarian suspension for prevention of ovarian adhesions during laparoscopic surgery on endometrioma: a double-blind randomized clinical trial. BMC Womens Health. 2022 [дата звернення 10 черв. 2024];22(1). <https://doi.org/10.1186/s12905-022-01607-2>.
17. Vinnakota M, Bellur K, Starnes SL, Schulz MJ. Scaling a Hydraulic Motor for Minimally Invasive Medical Devices. Micromachines. 2024 [дата звернення 06 черв. 2024];15(1):131. <https://doi.org/10.3390/mi15010131>.
18. Loddenkemper R, Mathur PN, Lee P, Noppen M. History and clinical use of thoracoscopy/pleuroscopy in respiratory medicine. Breathe. 2011 [дата звернення 06 черв. 2024];8(2):144–155. <https://doi.org/10.1183/20734735.011711>.
19. Bawazir O. Thoracoscopy in pediatrics: Surgical perspectives. Ann Thorac Med. 2019 [дата звернення 06 черв. 2024];14(4):239. https://doi.org/10.4103/atm.atm_114_19.
20. Stasyshyn AR, Hurayevskiy AA, Dvorakevych AO, Shevchuk DV, Kalinchuk OO, Hurayevskiy A-DA, STASYSHYN OA. Robotic surgery in Ukraine: first experience and development perspective. Hospital Surgery. Journal Named by L.Ya. Kovalchuk, [дата звернення 06 черв. 2024];(1):5–10. <https://doi.org/10.11603/2414-4533.2023.1.13794>.
21. Iacob ER, Iacob R, Ghenciu LA, Popoiu TA, Stoicescu ER, Popoiu CM. Small Scale, High Precision: Robotic Surgery in Neonatal and Pediatric Patients—A Narrative Review. Children. 2024 [дата звернення 06 черв. 2024];11(3):270. <https://doi.org/10.3390/children11030270>.
22. Huber MA, Robbins JM, Sebastian SM, Vu AH, Ferzli

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

- G, Schutzer R, Hingorani A. Robotic approaches for vascular and endovascular procedures: a narrative review. *Ann Laparosc Endosc Surg.* 2023 [дата звернення 06 черв. 2024];8:33. <https://doi.org/10.21037/ales-23-24>.
23. Raimann M, Ludwig J, Heumann P, Rechenberg U, Goelz L, Mutze S, Schellerer V, Ekkernkamp A, Bakir MS. Whole-Body Magnetic Resonance Tomography and Whole-Body Computed Tomography in Pediatric Polytrauma Diagnostics—A Retrospective Long-Term Two-Center Study. *Diagnostics.* 2023 [дата звернення 06 черв. 2024];13(7):1218. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13071218>.
24. Shah NR, Weadock WJ, Williams KM, Moreci R, Stoll T, Joshi A, Petroze R, Newman EA. Use of modern three-dimensional imaging models to guide surgical planning for local control of pediatric extracranial solid tumors. *Pediatr Blood Amp Cancer.* 2 берез. 2024 [дата звернення 06 черв. 2024]. <https://doi.org/10.1002/pbc.30933>.
25. Gour S, Qureshi ARK, Tukra GS, Bairagi V, Dehariya H, Shandilya A. Impact of Machine Learning Techniques in Medical Treatment Assistance in Perspective to AR & VR Technologies. *E3S Web Conf.* 2024 [дата звернення 06 черв. 2024];491:03006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449103006>.



UDC: 616.71-001.5-089.2:004.94

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.II.1](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.II.1)

The computer modeling study of diaphyseal bone fracture after internal fixation by titanium and stainless steel plates with angular stability screws

Olexii Dudko

 [0000-0003-1848-5053](https://orcid.org/0000-0003-1848-5053) @: dudko.oleksii@bsmu.edu.ua

Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

Keywords:

osteosynthesis;
bone plates;
stainless steel;
titanium;
computer modeling

Abstract

The rate of limb fractures is growing from year to year, so an improved approach is needed to make the treatment quicker, less expensive and more convenient for a patient. The operative treatment with plates can provide these advantages, but still it requires continuous research to improve techniques, devices and treatment results. The biomechanical interaction between a plate, screws and bone fragments is one of the critical factors that affect the stability of a fracture. The variety of fracture types, plate types and materials that are used for their manufacturing makes it complicated to predict the mechanical behavior of each component, so it remains not completely researched until now. The effect of plate material and load was studied by a computer modeling with a finite element analysis to determine high stress areas and displacement.

The aim of the study. To determine the effect of material, particularly stainless steel and titanium, on the stress in plate's body and displacement of bone fragments under flexion, abduction and rotational loads for plate with angular stability screws.

Materials and methods. The computer modeling with a finite element analysis was performed in Autodesk Inventor. A model of straight 10-holes plate with angular stability screws was created. The static stress study was performed for different loads applied in 90 degree angle to the bone in two planes (simulating flexion and abduction forces) and rotation along the axis of the bone. The displacement and von Mises stress were revealed in 3 different areas of the plate: the central part, just above the fracture, and in the area of two nearest to the center holes. The flexion force applied ranged from 100 N to 1000 N, the abduction force ranged from 100 N to 500 N and the rotational force from 1 Nm to 10 Nm. For statistical analysis of the obtained data the Microsoft Excel 2003 was used.

Results and discussion. The increase of the force caused more intensive stresses in the plate body just above the fracture site and in the area of the nearest holes

Cite as:

Dudko O. The computer modeling study of diaphyseal bone fracture after internal fixation by titanium and stainless steel plates with angular stability screws *Natural & Mathematical Sciences in Medicine and Medical Education* 1(2) 2025 16-26 DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.II.1](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.II.1)

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

to the plate center of the proximal fragment. The stress in stainless steel (SS) plate was higher than in titanium plate for most of the study cases with some exceptions for area just above the fracture site. For almost all bending less intensive loads the stress areas in SS plates were higher than in titanium plate on 10.9 - 47.0 %, with the exception of the central part of a plate. For the highest bending loads the difference between plates material ranged from 14.3 % in the central part to 35.3 % in the proximal part. For most of the abduction load cases the stresses in the SS plate body were higher except the distal part of the plate when less intensive loads were applied. The difference for less intensive loads between SS plate and titanium plate was 0.23 - 7.0 %. For the highest loads the difference of stress between plates material ranged from 26.9 % in the proximal part to 45.1 % in the distal part. For rotational forces the stress areas in SS plates were higher than in titanium plate on 0.47 - 4.3 %, with the larger difference in proximal fragment. The less displacement of bone fragments was found for SS plates comparing to titanium plates under bending, abduction and rotational forces the difference was 5 %, 26.4 % and 79.7 % respectively.

Conclusion. For the most of the loading conditions the less stress areas were found for titanium material compared with SS. On the other hand the displacement of bone fragments was higher for titanium plates, particularly under rotation loads. For the cases when the magnitude of applied loads is increasing and different forces are combined these differences may become an important factor affecting fracture healing.

Perspective of further research. As up to now both types of plate materials are used in clinical practice, the results of the study can be taken into account for planning orthopedics surgeries when plates are used for fixation, as well as for further research on this topic.

Комп'ютерне моделювання діафізарного перелому при остеосинтезі титановими та сталевими пластинами з кутовою стабільністю гвинтів

Олексій Дудко

 ID: [0000-0003-1848-5053](https://orcid.org/0000-0003-1848-5053) @: dudko.oleksii@bsmu.edu.ua

Буковинський державний медичний університет, Чернівці

Ключові слова:

остеосинтез;
накісткові пластини;
нержавіюча сталь;
титан;
комп'ютерне моделювання.

Анотація

Частота виникнення переломів кінцівок з року в рік постійно зростає, що вимагає вдосконалення підходів до їх лікування, щоб зробити цей процес менш тривалим та недорогим, а також більш комфортним для пацієнта. Оперативне лікування з застосуванням пластин може забезпечити ці переваги, але все ж потребує постійного дослідження направлено на вдосконалення техніки виконання, імплантатів та покращення результатів лікування. Біомеханічні взаємодії між пластиною, гвинтами та кістковими фрагментами є одним із критичних факторів, що впливають на стабільність перелому. Наявність різноманіття типів переломів, видів пластин та матеріалів, що використовуються для їх виробництва, ускладнюють можливість перебачити механічні взаємодії, що відбуваються при застосуванні даних конструкцій і багато аспектів залишаються недостатньо вивченими. Вплив матеріалу з якого виготовлена пластина та навантаження були досліджені шляхом комп'ютерного моделювання з застосуванням методики скінчених елементів для визначення найбільш стресових ділянок та зміщення.

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

Мета дослідження. Визначити вплив матеріалу з якого виготовлена пластина з кутовою стабільністю, зокрема нержавіючої сталі та титану, на зміни її напружено-деформованого стану та зміщення фрагментів перелому під дією прикладеного згинального, привідного та ротаційного навантаження.

Матеріали і методи. Комп'ютерне моделювання з застосуванням методики скінчених елементів було проведено в Autodesk Inventor. Змодельована пряма пластина з кутовою стабільністю гвинтів на 10 отворів. Дослідження статичного навантаження було проведено з прикладанням зусиль під кутом 90° до осі кістки у двох площинах (що симулює згинання та відведення) та ротацію вздовж осі кістки. Зміщення та ділянки підвищеного стресу за фон Мізесом визначалися в 3 частинах пластини: центральна ділянка над зоною перелому, та ділянки навколо найближчих до центру пластини отворів. Діапазон навантажень для згинання складав від 100 Н до 1000 Н, для відведення від 100 Н до 500 Н, а для ротаційного навантаження від 1 Nm до 10 Nm. Статистичний аналіз отриманих результатів проводився з використанням Microsoft Excel 2003.

Результати та обговорення. При збільшенні навантаження відмічалось посилення стресу в пластині над зоною перелому та навколо найближчих до центру пластини отворів, при чому для нержавіючої сталі показники були вищими, ніж для титану для більшості режимів навантаження, лише в поодиноких випадках над ділянкою перелому ситуація була протилежною. При прикладанні згинального навантаження низької інтенсивності максимальні показники стресу в пластинах з нержавіючої сталі були вищими ніж у титану на 10,9 – 47,0 %, крім центральної частини пластини. Для більш інтенсивного згинального навантаження відмінності в стресових ділянках між матеріалами складали від 14,3 % в центральній частині до 35,3 % в проксимальній частині. В переважній більшості режимів навантаження у напрямку приведення стрес в пластині з нержавіючої сталі був вищим, за виключенням дистальної ділянки при невеликих силах. Різниця між показниками стресу для навантажень низької інтенсивності була 0,23 – 7,0 %, а при підвищених навантаженнях різниця становила від 26,9 % в проксимальній частині до 45,1 % в дистальній. Для ротаційних навантажень стресові ділянки в пластинах з нержавіючої сталі були вищими ніж у титанових пластинах на 0,47 – 4,3 %, переважно в проксимальній ділянці. Менші зміщення кісткових фрагментів були виявлені для пластин з нержавіючої сталі в порівнянні з титановими пластинами і становили відповідно 5 %, 26,4 % та 79,7 % для згинальних, привідних та ротаційних навантажень.

Висновки. Для більшості режимів навантаження найменш стресові ділянки були виявлені в титанових конструкціях, порівнюючи з нержавіючою сталлю. З іншого боку, зміщення кісткових фрагментів було більшим для титанових пластин, зокрема під дією ротаційних навантажень. У випадках коли інтенсивність навантаження зростає і при комбінованих навантаженнях, ці відмінності можуть стати вагомим фактором впливу на процес зрощення переломів.

Перспективи подальших досліджень. На даний час в клінічній практиці обидва види матеріалів використовуються у пластинах, тому результати даного дослідження можуть бути прийнятими до уваги при плануванні оперативних втручань з накісткового остеосинтезу переломів, а також сприятимуть подальшим дослідженням в даному напрямку.

Content

Actuality	19
Materials and methods	19
Results of the study	21
Discussion	25
Conclusion	26
References	26

Actuality

In many countries the rate of limb fractures is growing from year to year [1, 2], so an improved approach is needed to make the treatment more quick, less expensive and more convenient for a patient [3]. The operative treatment with plates can provide these advantages and is considered to be one of the main techniques for fracture treatment [4]. There is still a large field for research according to improvements of techniques, plates and screws that can affect treatment results, so it requires further biomechanical, experimental and clinical studies. The biomechanical interaction between a plate, screws and bone fragments is one of the critical factors for the stability of a fracture [5]. The variety of fracture types, plate types and materials that are used for their manufacturing makes it complicated to predict the mechanical behavior of each component, so it remains not completely researched until now.

Computer modeling is one of modern research methods which are used for different fracture locations. Mischler et al. used it for simulation of proximal humerus fracture fixation with two different plates and various places for screws insertion to

calculate optimal combination for fracture healing [6]. Epari et al. performed computational study of distal femoral fractures after internal fixation with bone plates [7]. Other researchers used computer modeling to study biomechanics of tibial osteotomies. MacLeod et al. and Schröter et al. studied the effect of plate design, bridge span, types and locations of screws on the stability of bone fragments fixation [8, 9]. The effect on the stability under static axial loads of plate material and of spaces between bone fragments of fracture, between bone and plate was studied by Fouad [10]. But still there is no clear understanding of the biomechanical interactions after plate osteosynthesis. The guidelines for practical application of plates with angular stability of screws are very general and only the clinical experience of a surgeon advises the proper choice for a particular case. Therefore we decided to perform a study of the effect of plate material and of the load on fracture stability using computer modeling with a finite element analysis to compare high stress areas in SS and titanium plates, as well as displacement of bone fragments.

The aim of the study is to determine the effect of material, particularly stainless steel and titanium, on the stress in plate's body and displacement of bone fragments under flexion, abduction and rotational loads for plate with angular stability screws.

Materials and methods

The computer modeling with a finite element analysis was performed in Autodesk Inventor. A model of straight 10-holes plate with angular stability screws was created with dimensions 210x30x3 mm and six AO 5.0 mm screws were modeled with the threaded connection in the bone and plate body. The bone was modeled as two hollow cylinders of 210 mm length and 40 mm diameter, the wall thickness of 5 mm, which was representing the cortical layer. The bone-plate model was meshed into 60009 finite elements (tetrahedrons) (Fig. 1). Two

material types were used for plate and screws – stainless steel 316L and titanium. The mechanical parameters of bone were assigned as 57 MPa ultimate strength, 10.2 GPa Yungs modulus, 0.3 Poisson's ratio. The linear static stress study was performed for different loads applied at 90 degree angle to the bone in two planes, simulating flexion force (Fig. 1a), abduction force (Fig. 1b) and rotation along the axis of the bone (Fig. 1c). The displacement and stress were revealed in 3 different parts of the plate: the central part, just above the fracture, and in

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

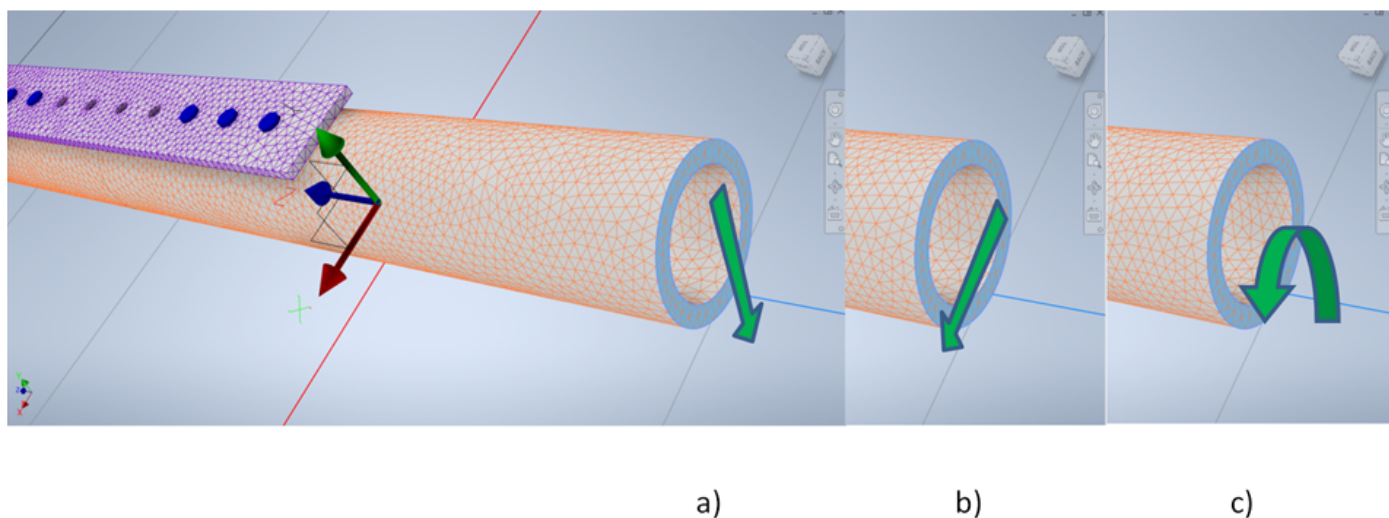


Figure 1 – Finite element model of transverse bone fracture fixed with the plate and screws. The loads applied to the distal face: a) bending; b) abduction; c) rotation

the areas of two nearest to the center holes proximally and distally (Fig. 2). The flexion force applied ranged from 100 N to 1000 N, the abduction force from 100 N to 500 N and the rotational force from 1 Nm to 10 Nm. For statistical analysis of the obtained data the Microsoft Excel 2003 was used.

The model was validated under similar conditions in biomechanical testing on fresh sues bones with plate fixation. The contact

surfaces between the plate and the screw were assigned as bonded, that is representing the angular stability of a screw relating to a plate. The contact surfaces between the plate and bone, and between the bone fragments were set as full separation with a friction coefficient of 0.3 and 0.6 respectively. The maximum von Mises stress was measured in control points, as well as the bone ends displacement at the fracture site.

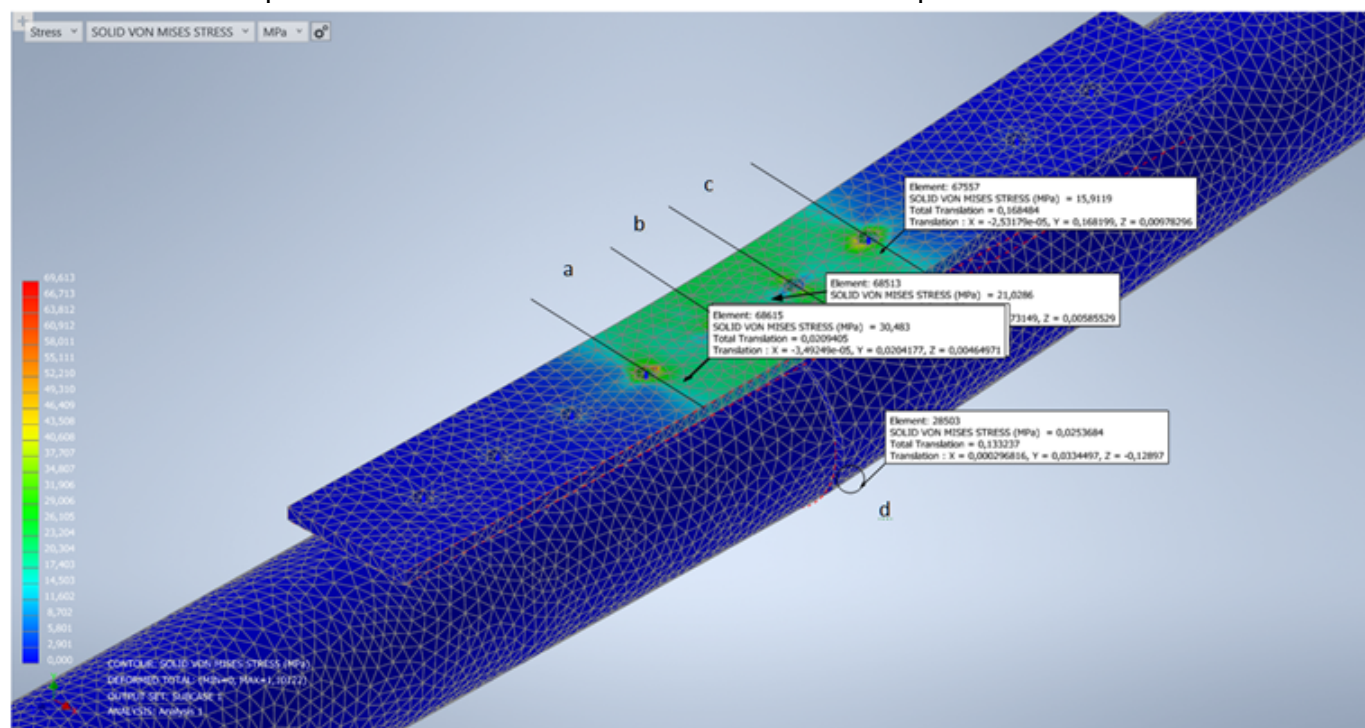


Figure 2 – The location of probes for stress detection in proximal part (zone a), central part (zone b), distal part (zone c), and for detection of distal fragment displacement in distal cortex (zone d)

Results of the study

The computer modeling of plate osteosynthesis was performed for static stress loads that were applied to the distal end of one bone segment and the proximal end of another segment was fixed in all three planes. That was representing the real-life conditions for a transverse limb fracture with two main bone segments, when the proximal one is attached to the proximal part of the body and so its movement is almost completely restricted. Therefore the distal fragment is considered the one which is displaced. The applied force was transferred from one bone segment to another one through the screws in the distal fragment, than the plate body and than the screws in another bone fragment. In this way of the force distribution the different stress areas and strains in each of the materials were developing. The maximum stress areas were detected in different parts of plate above the fracture site. Those were divided in three zones: first zone between two the nearest holes to the plate center (central part), next zones were between the first and the second holes more proximally (proximal part) and distally (distal part) from the plate center (Fig. 2).

The most distal facet of the distal fragment was the place of the main bending force application with the direction perpendicular to the longitudinal axis of the bone and to the plane of the plate at the range from 100 N to 1000 N. For SS plates under 100 N loads the stress was 29.1 MPa, 39.6 MPa and 32.5 MPa in the proximal, central and distal parts respectively. For titanium plates these values were lower – in proximal part 19.8 MPa, in central part 41.2 MPa and in distal part 29.3 MPa (Fig. 3).

The stress distribution in plates under different loads is presented in Table 1. For most of the load cases the stresses in the plate body were significantly higher for SS plates with the exception of central part of the plate. The maximum stresses that ex-

ceeded the ultimate strength of material were reached at 1000 N, so these conditions should be avoided to prevent implant failure. For almost all bending less intensive loads the stress areas in SS plates were higher than in titanium plate on 10.9 - 47.0 %, with the exception of the central part of a plate. The largest difference was found in the proximal fragment. For the highest loads the difference between plates material ranged from 14.3 % in the central part to 35.3 % in the proximal part.

The rotational force was applied to the most distal facet of the distal fragment along the longitudinal axis of the bone. It was ranged from 1 Nm to 10 Nm. The stresses in SS plates under 1 Nm torque the stress were 30.5 MPa, 21.0 MPa and 15.9 MPa in the proximal, central and distal parts respectively. For titanium plates these values were lower – in proximal part 29.2 MPa, in central part 20.9 MPa and in distal part 15.4 MPa (Fig. 4).

The stress distribution in plates under different torque is presented in Table 2. The rotational forces are usually acting as additional forces with low intensity. But the negative effect of these forces on the fracture often leads to the delayed healing. For all loading conditions the stress areas in SS plates were higher than in titanium plate on 0.47 - 4.3 %, with the larger difference in proximal fragment.

The abduction force was also applied to the most distal facet of the distal bone fragment. The direction was perpendicular to the longitudinal axis of the bone and parallel to the plane of the plate. In real-life conditions it is acting on the limb, as a part of the complex forces, but its magnitude is less than of flexion force. So in our study this force was applied in the range from 100 N to 500 N. The stresses in SS plate under 100 N load were: in proximal part 60.3 MPa, in central part 43.0 MPa and in distal part 34.7 MPa. For titanium plates

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

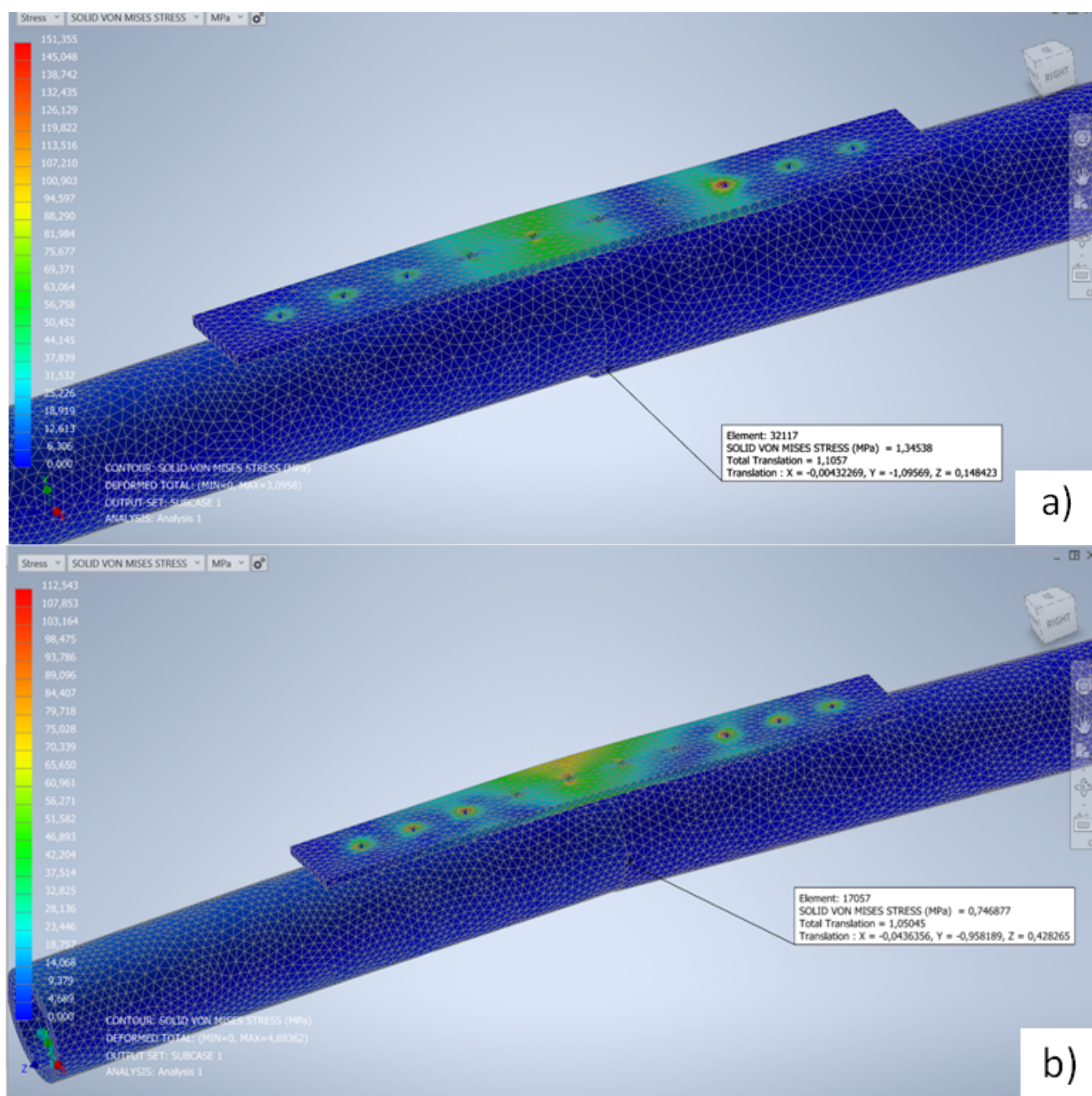


Figure 3 – Stress distribution in the plate and displacement of distal bone fragment in SS (a) and titanium (b) plates under **bending** load 100N

Table 1
The stress distribution in different parts of SS and titanium plates under **bending** loads

Load	Von Mises stress (MPa)					
	Proximal part		Central part		Distal part	
	SS	Ti	SS	Ti	SS	Ti
100 N	29.1	19.8	39.6	41.2	32.5	29.3
500 N	109.9	47.2	156.1	82.6	61.8	32.3
1000 N	226.9	167.7	358.7	313.9	329.8	284.4

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

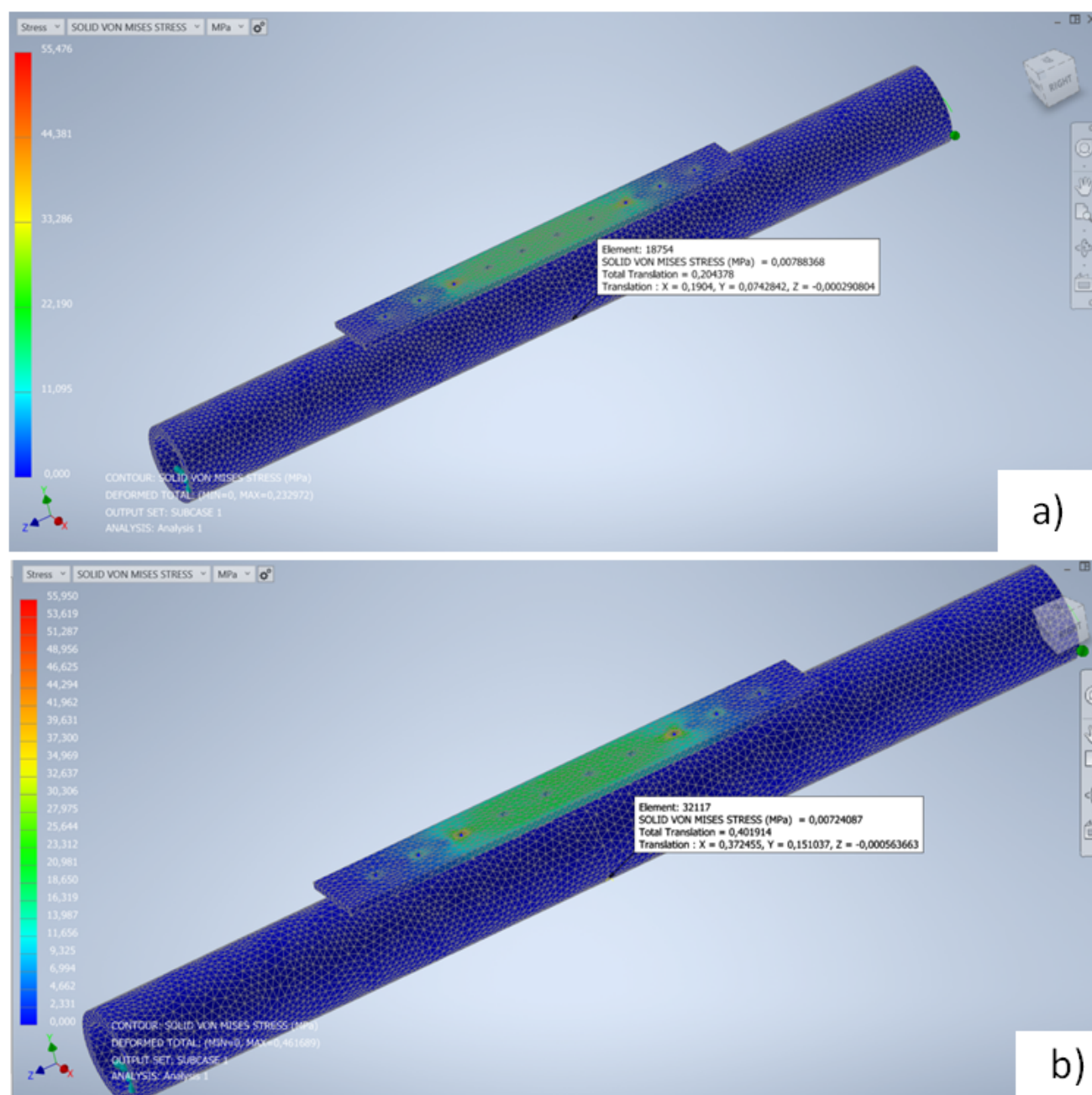


Figure 4 – Stress distribution in the plate and displacement of distal bone fragment in SS and titanium plates under **rotational torque** of 1 Nm

Table 2

The stress distribution in different parts of SS and titanium plates under **rotational force**

Torque	Von Mises stress (MPa)					
	Proximal part		Central part		Distal part	
	SS	Ti	SS	Ti	SS	Ti
1 Nm	30.5	29.2	21.0	20.9	15.9	15.4
5 Nm	152.4	146.1	105.2	104.7	79.6	76.8
10 Nm	304.8	292.2	210.3	209.4	159.1	153.6

these values were lower – in proximal part 56.1 MPa, in central part 42.9 MPa and higher in distal part 35.6 MPa (Fig. 5). The stress distribution in plates under different adduction loads are presented in Table 3. For most of the adduction load cases the

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

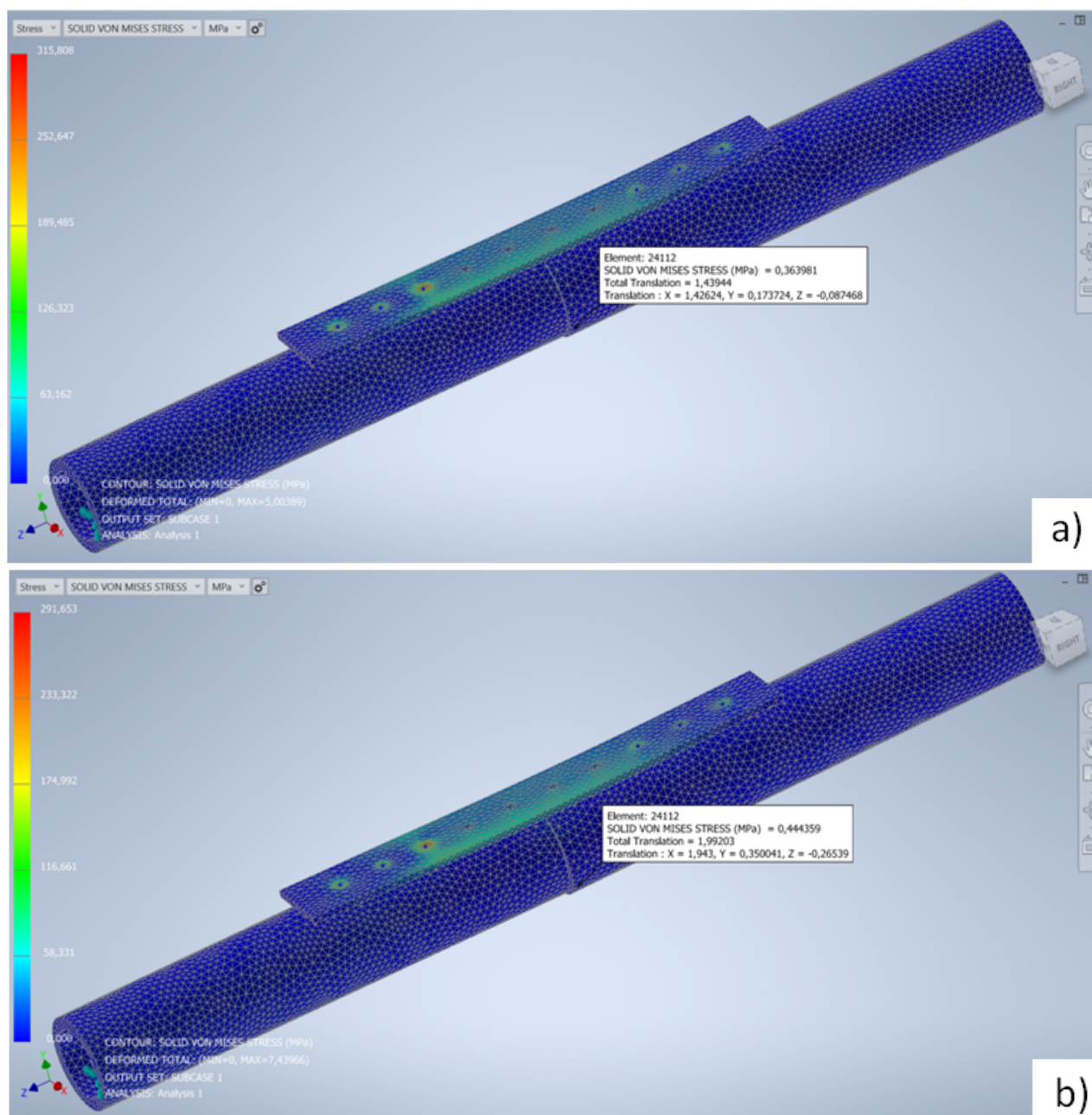


Figure 5 – Stress distribution in the plate and displacement of distal bone fragment in SS and titanium plates under **abduction** loads of 100 N

Table 3

The stress distribution in SS and titanium plates under **abduction** loads

Load	Von Mises stress (MPa)					
	Proximal part		Central part		Distal part	
	SS	Ti	SS	Ti	SS	Ti
100 N	60.3	56.1	43.0	42.9	34.7	35.6
200 N	121.5	112.7	87.9	86.5	71.5	72.1
500N	284.8	224.4	234.0	184.8	202.2	139.4

stresses in the SS plate body were higher except the distal part of the plate when less intensive loads were applied. The difference for less intensive loads between SS plate

and titanium plate was 0.23 - 7.0 %. For the highest loads the difference between plates material ranged from 26.9 % in the proximal part to 45.1 % in the distal part.

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

For different applied loads: bending, abduction and rotational forces the displacement was checked in the distal cortex of the distal bone fragment according to its position before the load. The displacement of bone fragments under bending, abduction and rotational forces is presented on Fig. 6 with the difference between SS and titani-

um plates of 5 %, 26.4 % and 79.7 % respectively. Due to the mechanical properties of SS it provides more rigid fixation and that was resulted in less displacement of fracture fragments. Though the amount of displacement is not significant for small loads, for the larger loads it may be the cause of delayed fracture healing and non-healing.

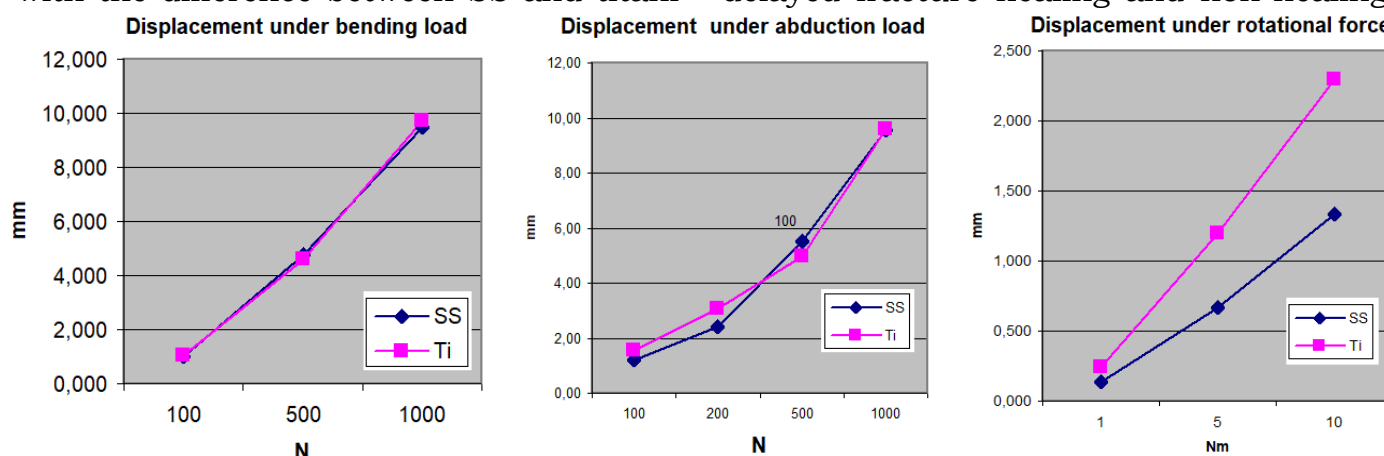


Figure 6 – Displacement of distal bone fragment under bending, abduction and rotational loads

Discussion

The results of our study show that the stress for plates made of different materials was not the same. Under the increasing forces the maximum stress areas were increased in both plates. As the plate material was the only variable that was changed, so the differences between the stresses in the plate body were related with the mechanical properties of SS and titanium. There were several papers that attempted to study the effect of the plate material on the fracture biomechanics after internal fixation. Epari et al., 2021 compared SS plates with biphasic plates for fixation of femoral fractures, with a different respond on applied load. Authors are suggesting biphasic plate concept, as an option that can increase the implant stability and provide adequate flexibility at the fracture site [7]. In most of the biomechanical studies the effect of axial compression load is investigated, as the main load acting during walking activity. But in some papers additional load which is acting in other planes is studied. The Fouad performed a computation-

al study in 2011, comparing the effect of plate material on the stiffness of fracture fixation. The effect on the high-stress areas of the torsional load was shown to be even more significant than compression load. The application of suggested by him function-graded plate was able to reduce shielding effect comparing with the SS or titanium plates. The presence of a gap between the bone and plate was also affecting the stability of fracture fixation [10].

At this moment there were two main materials that are used in clinical practice. The significant price difference between the plates made of SS and titanium was decreases in recent years due to the advances in the manufacturing process. So the plate's mechanical properties, but not the price is the predicting factor for choosing either SS or titanium plate. That makes it more important to study difference between these two materials in various clinical settings. For fractures located at the proximal humerus the studies were performed by Mischler et al [6] and lower limb fractures

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

located at the distal femur the were studied by Kandemir in 2017 [11], and in the proximal tibia by MacLeod [8]. Of cause the anatomical peculiarities of fracture site makes it complicated to investigate the effect of the material on fracture fixation. Also this effect may vary significantly for different fracture types and locations. But the effect of the plate

material should be considered for planning of surgeries on internal fracture fixation, as one of the main factor that will effect on the fracture healing process starting from the day of surgery till the full recovery of the patient. The results of the present study may contribute for further research in this field.

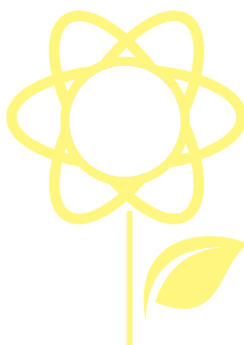
Conclusion

For the most of the loading conditions the less stress areas were found for titanium material compared with SS. On the other hand the displacement of bone fragments was higher for titanium plates, par-

ticularly under rotation loads. For the cases when the magnitude of applied loads is increasing and different forces are combined these differences may become an important factor affecting fracture healing.

References

1. Bergh C, Wennergren D, Möller M, Brisby H. Fracture incidence in adults in relation to age and gender: A study of 27,169 fractures in the Swedish Fracture Register in a well-defined catchment area. PLOS ONE. 2020 [дата звернення 19 берез. 2025];15(12):e0244291. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244291>.
2. Eckart AC, Ghimire PS, Stavitz J. Predictive Validity of Multifactorial Injury Risk Models and Associated Clinical Measures in the U.S. Population. Sports. 2024 [дата звернення 19 берез. 2025];12(5):123. <https://doi.org/10.3390/sports12050123>.
3. Ekegren C, Edwards E, de Steiger R, Gabbe B. Incidence, Costs and Predictors of Non-Union, Delayed Union and Mal-Union Following Long Bone Fracture. Int J Environ Res Public Health. 2018 [дата звернення 19 берез. 2025];15(12):2845. <https://doi.org/10.3390/ijerph15122845>.
4. Augat P, von Rüden C. Evolution of fracture treatment with bone plates. Injury. 2018 [дата звернення 19 берез. 2025];49:S2–S7. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(18\)30294-8](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(18)30294-8).
5. Foster AL, Moriarty TF, Zalavras C, Morgenstern M, Jaiprakash A, Crawford R, Burch MA, Boot W, Tetsworth K, Miclau T та ін. The influence of biomechanical stability on bone healing and fracture-related infection: the legacy of Stephan Perren. Injury. Черв. 2021 [дата звернення 20 берез. 2025]. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.06.044>.
6. Mischler D, Babu S, Osterhoff G, Pari C, Fletcher J, Windolf M, Gueorguiev B, Varga P. Comparison of optimal screw configurations in two locking plate systems for proximal humerus fixation - a finite element analysis study. Clin Biomech. 2020 [дата звернення 20 берез. 2025];78:105097. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2020.105097>.
7. Epari DR, Gurung R, Hofmann-Fliri L, Schwyn R, Schuetz M, Windolf M. Biphasic plating improves the mechanical performance of locked plating for distal femur fractures. J Biomech. 2021 [дата звернення 19 берез. 2025];115:110192. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2020.110192>.
8. MacLeod AR, Serranoli G, Fregly BJ, Toms AD, Gill HS. The effect of plate design, bridging span, and fracture healing on the performance of high tibial osteotomy plates. Bone Amp Jt Res. 2018 [дата звернення 19 берез. 2025];7(12):639–649. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.712.bjr-2018-0035.r1>.
9. Foster AL, Moriarty TF, Zalavras C, Morgenstern M, Jaiprakash A, Crawford R, Burch M-A, Boot W, Tetsworth K, Miclau T, et al. The influence of biomechanical stability on bone healing and fracture-related infection: the legacy of Stephan Perren. Injury. 2021;52(1):43–52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.injury.2020.06.044>. doi:10.1016/j.injury.2020.06.044
10. Fouad H. Effects of the bone-plate material and the presence of a gap between the fractured bone and plate on the predicted stresses at the fractured bone. Med Eng Amp Phys. 2010 [дата звернення 20 берез. 2025];32(7):783–789. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2010.05.003>.
11. Kandemir U, Augat P, Konowalczyk S, Wipf F, von Oldenburg G, Schmidt U. Implant Material, Type of Fixation at the Shaft, and Position of Plate Modify Biomechanics of Distal Femur Plate Osteosynthesis. J Orthop Trauma. 2017 [дата звернення 19 берез. 2025];31(8):e241–e246. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000000860>



УДК: 004.942:004.85:[616.98:578.834]-037

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

Використання хмарних обчислень та технологій машинного навчання для аналізу та прогнозування динаміки захворюваності на прикладі COVID-19 в Україні

Олександр Олар

 [0000-0002-3625-8439](https://orcid.org/0000-0002-3625-8439) @: o.v.olar@chnu.edu.ua

Діана Олар

 [0009-0000-3330-990X](https://orcid.org/0009-0000-3330-990X) @: dianaolar4@gmail.com

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

Ключові слова:

COVID-19,
великі дані,
машинне навчання,
хмарні обчислення,
прогнозування,
BigQuery.

Анотація

У статті розглянуто застосування хмарних технологій та методів машинного навчання для аналізу та прогнозування динаміки поширення захворюваності на COVID-19 в Україні. Приділено увагу використанню середовища Google BigQuery як інструменту для обробки великих масивів відкритих епідеміологічних даних, що доступні через глобальні відкриті набори даних. Продемонстровано можливості платформи щодо побудови часових рядів, агрегування статистичних показників, створення машинних моделей (зокрема ARIMA), а також генерації прогнозів у режимі реального часу для прогнозування поширення інфекцій.

Для аналізу можливості прогнозування епідеміологічної ситуації були використані інтенсивні показники захворюваності (напр., рівень захворюваності) та екстенсивні показники епідеміологічного процесу (напр., розподіл підтверджених випадків за регіонами, частка регіонів у загальній кількості випадків тощо).

Дослідження охоплює дані до 24.02.2022 р. Для обчислень використовували лише національні показники. Результати короткострокового прогнозування (30 днів) виявили високу узгодженість із реальними даними, а значення прогнозованих значень перебувають в межах довірчих інтервалів. При збільшенні термінів до 60 днів було зафіксовано суттєве зростання похибки, що відповідає

Цитування:

Олар ОВ, Олар Д. Використання хмарних обчислень та технологій машинного навчання для аналізу та прогнозування динаміки захворюваності на прикладі COVID-19 в Україні. *Природничі, математичні науки та освіта в медицині* 1(2) 2025 27-36

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

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

загальновідомим обмеженням ARIMA-моделей для довгострокових прогнозів.

Відзначено обмеження застосованого підходу: відсутність у моделі зовнішніх регресорів, які могли б істотно впливати на точність прогнозу (темпи вакцинації, карантинні обмеження, зміни у стратегії тестування, завантаженість і оснащеність діагностичних лабораторій тощо). Запропоновано напрямки для подальших досліджень, включно з використанням складніших моделей або нейронних мереж, здатних враховувати додаткові фактори впливу.

Дослідження підтверджує можливість інтеграції Big Data та хмарних ML-інструментів у прогнозування поширення інфекцій для прийняття рішень у сфері епідеміології та громадського здоров'я як на регіональних, так і загальнодержавному рівнях.

Use of cloud computing and machine learning technologies for analysis and forecasting of disease dynamics based on COVID-19 trends in Ukraine

Oleksandr Olar

 [0000-0002-3625-8439](https://orcid.org/0000-0002-3625-8439) @: o.v.olar@chnu.edu.ua

Diana Olar

 [0009-0000-3330-990X](https://orcid.org/0009-0000-3330-990X) @: dianaolar4@gmail.com

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine

Key words:

COVID-19,
Big Data,
Machine Learning,
Cloud Computing,
Forecasting,
BigQuery

Abstract

The article examines the application of cloud technologies and machine learning methods for analyzing and forecasting the dynamics of COVID-19 in Ukraine. Special attention is given to the use of the Google BigQuery environment as a tool for processing open epidemiological big data provided through global open datasets.

The study demonstrates the platform's capabilities in building time series, aggregating statistical indicators, constructing machine learning models (specifically ARIMA), and generating real-time forecasts to predict the spread of infections.

To analyze the forecast of the epidemiological situation, both intensive indicators of morbidity (e.g., incidence rate) and extensive indicators of the epidemiological process (e.g., distribution of confirmed cases by region, regional share in total case numbers, etc.) were used.

The research is based on data up to February 24, 2022, and includes only national (Ukrainian) indicators. The results of short-term forecasting (30 days) showed high agreement with actual data. Forecast values remained within the confidence intervals. However, extending the forecast period to 60 days resulted in a significant increase in error, which is consistent with the well-known limitations of ARIMA models for long-term predictions.

The applied approach has limitations in forecasting accuracy due to the absence of external regressors that could significantly influence the results (e.g., vaccination rates, quarantine restrictions, availability of laboratory equipment, and changes in testing strategies). Based on the findings, potential directions for further research are proposed, including the use of advanced models or neural networks capable of accounting for additional influencing factors.

The study confirms the feasibility of integrating Big Data and cloud-based machine learning tools into infection spread forecasting processes to support decision-making in epidemiology and public health at both regional and national levels.

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

Зміст

Вступ	29
Матеріали та методи	30
Результати та їх обговорення	31
Висновки	34
Список використаних джерел	35

Перелік скорочень:

COVID-19 - COronaVirus Disease 2019, коронавірусне захворювання 2019;

ML - Machine Learning, машинне навчання;

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я, WHO;

SQL - Structured query language, мова структурованих запитів;

ARIMA – AutoRegressive Integrated Moving Average, авторегресійне інтегроване ковзне середнє;

MAE – абсолютна похибка середнього, Mean Absolute Error;

RMSE – середньоквадратична похибка, Root Mean Square Error;

MAPE – середня абсолютна процентна помилка, Mean Absolute Percentage Error;

ПЛР – полімеразна ланцюгова реакція.

Вступ

Безпрецедентна епідеміологічна загроза COVID-19, з якою людство зіткнулося в останнє десятиліття, охопила увесь світ і спричинила глибокі зміни у різних напрямках існування і діяльності суспільства: політичному, соціальному, економічному, освітньому, і, особливо, медичному. За таких умов надзвичайною стає здатність системи охорони здоров'я, як комплексу, що підтримує й сприяє відновленню здоров'я, не лише реагувати на поточні проблеми та виклики, а й прогнозувати розвиток несприятливих епідеміологічних та інших ситуацій. Саме тому увага науковців, які працюють у галузі прогнозування, зосередилася не тільки на традиційних статистичних методах, а й на методах, які здатні виявляти складні взаємодії між досліджуваними ознаками та дозволяють здійснювати ефективну обробку великих обсягів наявних даних і будувати прогностичні моделі на їх основі [1].

Технології Big Data у поєднанні з ме-

тодами машинного навчання сьогодні можуть забезпечити нову якість аналізу епідеміологічної інформації. Завдяки цим підходам можна здійснювати багатовимірний аналіз даних щодо кількості нових випадків захворювань, рівнів летальності, ефективності вакцинації, географічного розподілу захворювань, соціально-демографічних особливостей тощо [2, 3]. Використання хмарних обчислювальних платформ, зокрема Google Cloud Platform із сервісом BigQuery ML, дозволяє працювати з мільйонами записів у реальному часі та будувати адаптивні моделі прогнозування [4].

Оперативне прогнозування – це не лише інструмент для наукового аналізу, а й важлива компонента в управлінні потенційними ризиками на рівні державної політики, в тому числі у сфері охорони здоров'я. Застосування моделей машинного навчання у сфері охорони здоров'я дозволяє не лише оптимізувати розподіл медичних ресурсів, а й коригувати

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

стратегії карантинних заходів залежно від очікуваної динаміки захворюваності [5]. Крім того, такі дослідження мають міждисциплінарний характер, об'єднуючи методи обробки даних, математичного моделювання, статистичного моделювання, епідеміології, інформаційних

технологій і візуалізації даних та ін. [6]. Тому розробка надійних підходів до аналізу та прогнозування різних видів захворюваності, включно COVID-19, із використанням Big Data та ML є актуальним напрямом, що має як наукове, так і практичне значення.

Мета дослідження

Метою дослідження є проведення аналізу і прогнозування динаміки захворюваності, на прикладі COVID-19, із використанням технологій Big Data та методів машинного навчання та візуалізації таких даних.

Матеріали та методи

У рамках дослідження було використано комплексний підхід до збору, підготовки та аналізу даних, що охоплював як методи обробки великих обсягів інформації (Big Data), так і застосування сучасних алгоритмів машинного навчання. Основну увагу було приділено створенню моделей для прогнозування динаміки захворюваності на COVID-19 з урахуванням регіональних, часових та демографічних факторів.

3.1 Джерела даних

Джерелами для аналізу відкритих наборів даних обрано дані ВООЗ, які містять офіційно підтверджені випадки інфікування, летальні наслідки та рівень вакцинації [7]; портали центру громадського здоров'я України [8], Worldometer COVID-19 Data [9], Google Open Data [10].

Загальний обсяг початкових даних складав понад 5 млн записів. Дані включали часові ряди, категоріальні та числові ознаки, що вимагало використання методів попередньої обробки, зокрема нормалізації, очищення даних від записів з пропущеними значеннями та обробки аномалій.

3.2 Обробка та зберігання даних

Для обробки великого обсягу даних було застосовано інструменти хмарної платформи Google Cloud Platform, зокрема сервіс BigQuery, який забезпечує паралельне виконання SQL-запитів над петабайтами інформації. Такий підхід дозволив уникнути проблеми локального зберігання даних та

прискорити виконання складних агрегаційних і фільтраційних операцій.

Обробка даних включала: видалення записів із пропущеними або некоректними значеннями; створення нових ознак, таких як добові прирости, 7-денні ковзні середні, швидкість зростання/спаду та ін.

3.3 Методи машинного навчання

Були побудовані прогностичні моделі з використанням BigQuery ML, що дозволяє виконувати навчання моделей безпосередньо у середовищі запитів SQL. Для моделювання використовувалися такі типи моделей:

- лінійна регресія (прогнозування значень кількості нових підтверджених випадків на основі часових рядів);

- автоматизовані моделі часових рядів (ARIMA, Prophet-подібні) (дозволяють враховувати сезонні та трендові компоненти);

- аналіз головних компонент (зменшення розмірності вхідних даних та виділення головних факторів, що впливають на розповсюдження захворювання).

Навчання моделей проведено з використанням крос-валідації, а для оцін-

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

ки якості прогнозування застосовано класичні метрики: MAE, RMSE, MAPE.

Результати та їх обговорення

За допомогою інструменту BigQuery можна прослідкувати динаміку поширення COVID-19 в Україні з урахуванням наявної у базі інформації. Інструмент дозволяє обмежити дані за датою, фільтрувати тільки національний рівень, уникати дублювання по регіонах і будувати узагальнені ряди та ін. Отримані результати можна використовувати як основу для подальшого прогнозування або порівняльного аналізу з іншими країнами.

У ході дослідження було побудовано декілька моделей прогнозування динаміки захворюваності на COVID-19 з використанням алгоритмів машинного навчання, реалізованих у середовищі BigQuery ML. Основну увагу було приділено часовим рядам підтверджених випадків, які стали базою для прогнозування захворюваності на 30 та 60 днів, а також виконано порівняння прогнозів з офіційною статистикою.

Представимо вибіркові результати аналізу захворюваності в Україні.

Для розгляду і побудови моделей обрано період відносно стабільної та безперешкодної реєстрації даних захворюваності на COVID-19 в Україні.

Обробка масиву даних на період 01.03.2020-24.02.2022рр. з допомогою

BigQuery дозволила візуалізувати процес зростання захворюваності у вигляді кумулятивної залежності (Рис. 1).

Графік динаміки виявлених випадків корелює із залежностями представленими трекерами [10]. Фактичні дані могли бути дещо вищими, оскільки інфіковані особи через легкий перебіг або безсимптомне протікання захворювання не зверталася до медичних установ, тому не потрапляли у бази, що реєстрували рівень захворюваності.

Залежність (Рис. 1) володіє чітко вираженою хвильовою структурою. Темпи приросту захворюваності зростали в осінньо-зимовий період (властиво для респіраторних інфекцій). Дані про пацієнтів не обмежені однократною реєстрацією у загальній кількості інфікованих осіб (повторність захворювання вважали новим окремим випадком). На Рис.1 присутнє плато у характері залежності впродовж 2021 року (період 01.05.2021-01.09.2021), яке найбільш ймовірно можна пов'язати з періодом інтенсивної вакцинації населення у попередні місяці та частковим формуванням імунітету вакцинованих, визначенням груп високого ризику та особливою увагою до них, набуттям клінічного досвіду щодо терапе-

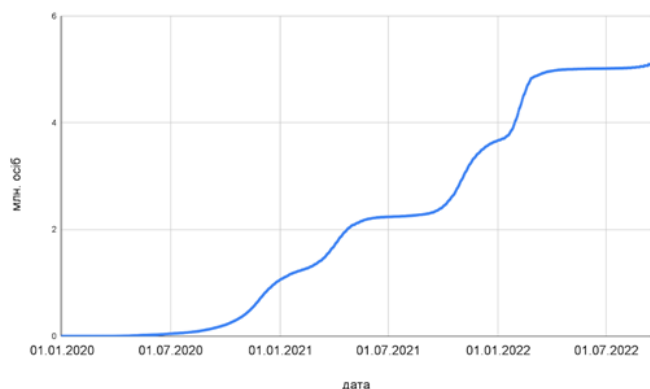


Рис. 1. Динаміка захворюваності на COVID-19 в Україні у 01.03.2020-24.02.2022 рр.



Рис. 2. Динаміка захворюваності на COVID-19 в Україні у 01.03.2020-24.02.2022 рр. та вакцинації у період 24.02.2021-22.02.2022 рр.

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

втичних засобів, оптимізацією медичної інфраструктури та виробленням і чітким дотриманням алгоритмів у роботі медичного персоналу, виконанням вже зрозумілих для населення карантинних заходів та дотриманням санітарних норм, безперечно, сезонними змінами та ін.

Темпи вакцинації разом зі статистикою захворюваності представлені на Рис. 2. Кумулятивна залежність для відображення процесу вакцинації враховує загальну кількість проведених щеплень на відповідну дату.

Наступна діаграма (Рис. 3) ілюструє дані, отримані за запитом, про відсотки зареєстрованих за регіонами випадків захворювання відносно населення регіонів у порядку зменшення величини.

Відмінності у показниках можна вважати не суттєвими (крім регіонів де було ускладнено отримання достовірних даних — Донецька та Луганська області) попри різницю загальної кількості та густини населення у регіонах. Найменший показник захворюваності спосте-

рігався у Кіровоградській області. Але значення найнижчих темпів поширення епідемії у деяких регіонах можуть бути пов'язані з відмінностями у наявності, оснащенні та забезпеченні відповідних лабораторій, а також у кількості звернень до медичних установ і, відповідно, у кількості проведених лабораторних досліджень (ПАР для підтвердження діагнозу COVID-19). На жаль, інформації про загальну кількість проведених тестів, позитивних тестів, які підтвердили діагноз тощо у базі немає. Це унеможливає однозначність висновків щодо найменш вражених епідемією регіонів і ефективності протиепідемічних заходів у них.

З діаграми на Рис.4 випливає типове для процесів поширення епідемії правило про пропорційність кількості інфікованих осіб числу зустрічей між людьми: вища густина населення – вищі темпи поширення епідемії і, як наслідок, більша кількість інфікованих осіб. Тому великі міста України (Київ, Харків, Одеса, Дніпро, Львів) у загальній частці мають

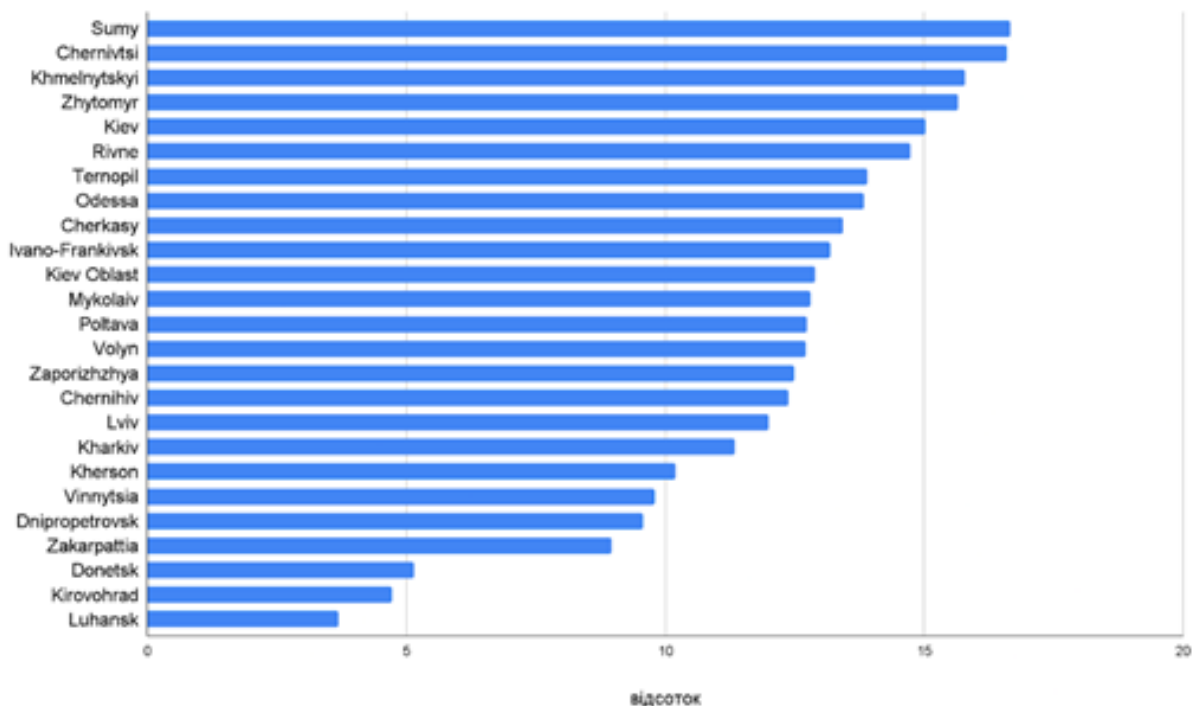


Рис. 3. Розподіл відсотків зареєстрованих захворювань (згідно з кумулятивними даними) за регіонами відносно чисельності населення регіону.

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

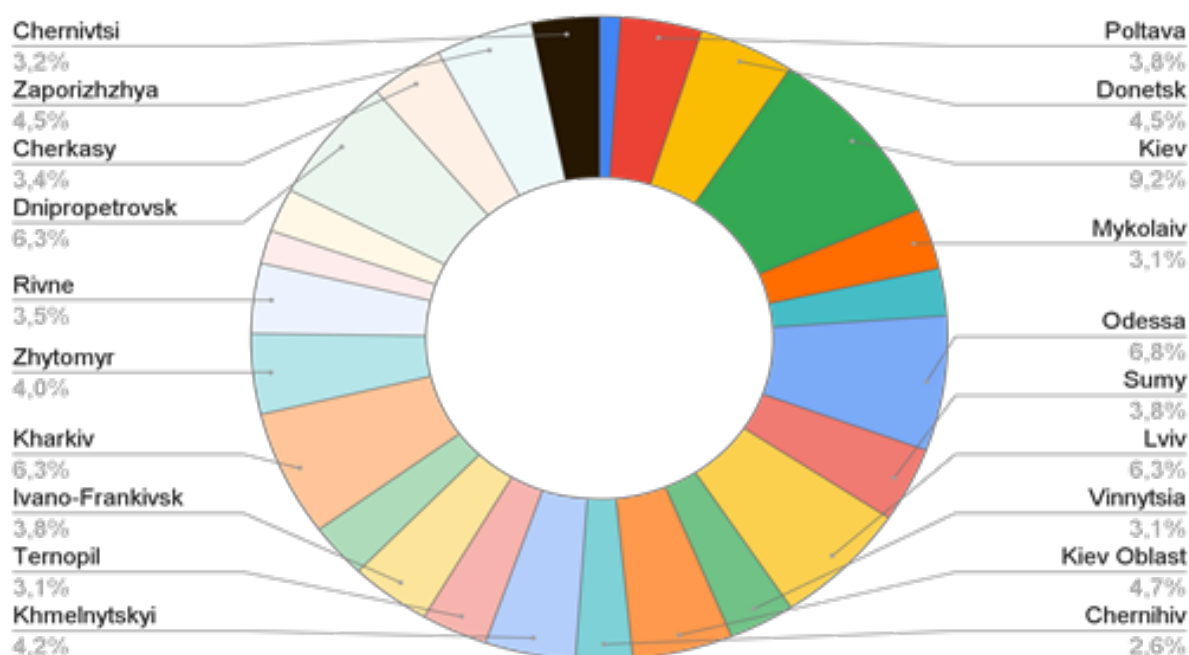


Рис 4. Діаграма частки захворювань за регіонами України відносно показників по країні.

найбільший відсоток хворих. Але профілактична стратегія і тактика системи охорони здоров'я, характерна для сталого режиму поширення епідемії, практично не змінили величину відсотку хворих щодо населення відповідних регіонів.

Розглянемо порівняльні результати, отримані застосуванням моделі ARIMA та моделі часових рядів у BigQuery ML для побудувати прогнозу і порівняння з фактичними даними за відповідний період (30 та 60 днів) для валідації інструменту в якості прогностичного.

Фактичні значення зареєстрованих випадків COVID-19 в Україні станом на 30.11. 2021 р. - 3.45 млн осіб, станом на 31.12. 2021 - 3.67 млн осіб [10].

Рис. 5 та Рис.6 ілюструють фактичні та результати прогнозування (прогнозовані значення й довірчі інтервали для кожного з них) з 01.11.2021 року на 30-денний та 60-денний періоди відповідно.

Прогноз, побудований на основі нашої моделі у порівняння з фактичними даними за 21-денний період (цінний для епідеміології зі стратегічної

точки зору) показує високу точність і стабільність результатів. Такий рівень відповідності свідчить про практичну придатність моделі для коротко- та середньострокового епідеміологічного аналізу, особливо в умовах динамічних змін.

Варто наголосити, що фактичні показники захворюваності перебувають в межах довірчого інтервалу результатів прогнозування для вказаної моделі на 30 днів, що вказує на стабільність моделі та прийнятний рівень прогностичної точності у зазначеному часовому інтервалі.

Проте, вже при збільшенні інтервалу до 60 днів помітне суттєве відхилення показників прогнозованих за допомогою розглянутої моделі (фактичний показник дещо нижчий нижньої межі довірчого інтервалу прогнозованих значень), що свідчить про її обмежену точність у довгостроковій перспективі. Така поведінка прогнозованих значень властива для ARIMA-моделей, які зазвичай дозволяють отримувати краще узгодження з реальними даними у межах короткострокових часових інтервалів.

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

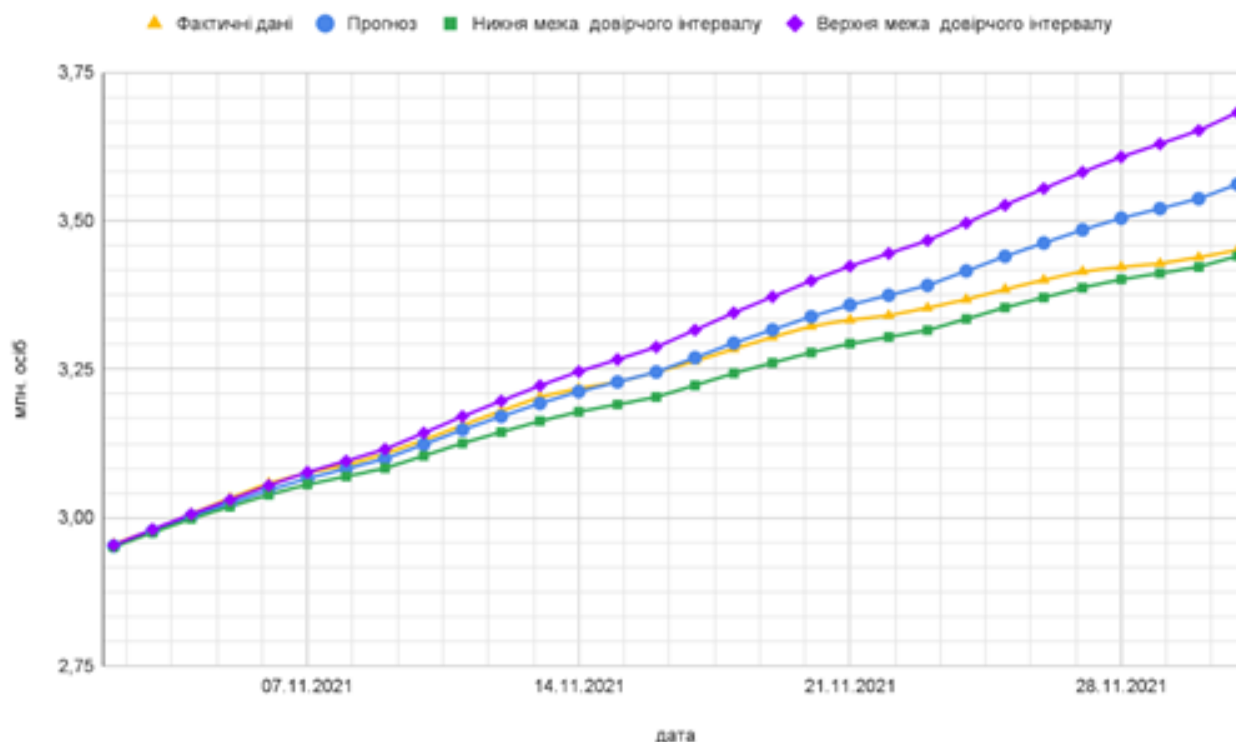


Рис 5. Фактичні та прогнозовані значення захворюваності на COVID-19 на 30-денному інтервалі (період 01.11.2021-30.11.2021).

Варто зауважити, що побудована ARIMA-модель не враховує додаткових зовнішніх факторів, таких як рівень вакцинації населення, запровадження карантинних обмежень чи сезонні коливання. Оскільки ці чинники мають суттєвий вплив на динаміку захворюваності, їх ігнорування знижує точність прогнозу, особливо у довгостроковій перспективі. З огляду на це, доцільним є подальше тестування складніших моделей, що дозволяють інтегрувати зовнішні регресори — зокрема, Boosted Tree Regressor або моделі часових рядів з підтримкою додаткових ознак.

Висновки

Проведене дослідження продемонструвало ефективність використання хмарної платформи BigQuery ML у поєднанні з методами машинного навчання для аналізу та прогнозування епідеміологічної ситуації на прикладі пандемії COVID-19 в Україні. Побудовані моделі,

Таким чином, використання BigQuery ML у поєднанні з алгоритмами машинного навчання продемонструвало високу ефективність у розв'язанні задач коротко- та середньострокового прогнозування епідеміологічних показників.

Зазначимо також, що обсяг і деталізація відкритих даних по Україні є значно нижчими порівняно з іншими країнами. Це обмежує потенційні напрями дослідження та ускладнює побудову складніших (багатовимірних) моделей, які могли б враховувати ширший спектр чинників, що впливають на досліджувані явища.

зокрема ARIMA, дозволили здійснити короткострокове прогнозування динаміки захворюваності, при порівнянні результатів якого виявлено узгодження з фактичними даними, які перебувають в межах довірчого інтервалу прогнозованих значень. Водночас при розширенні

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

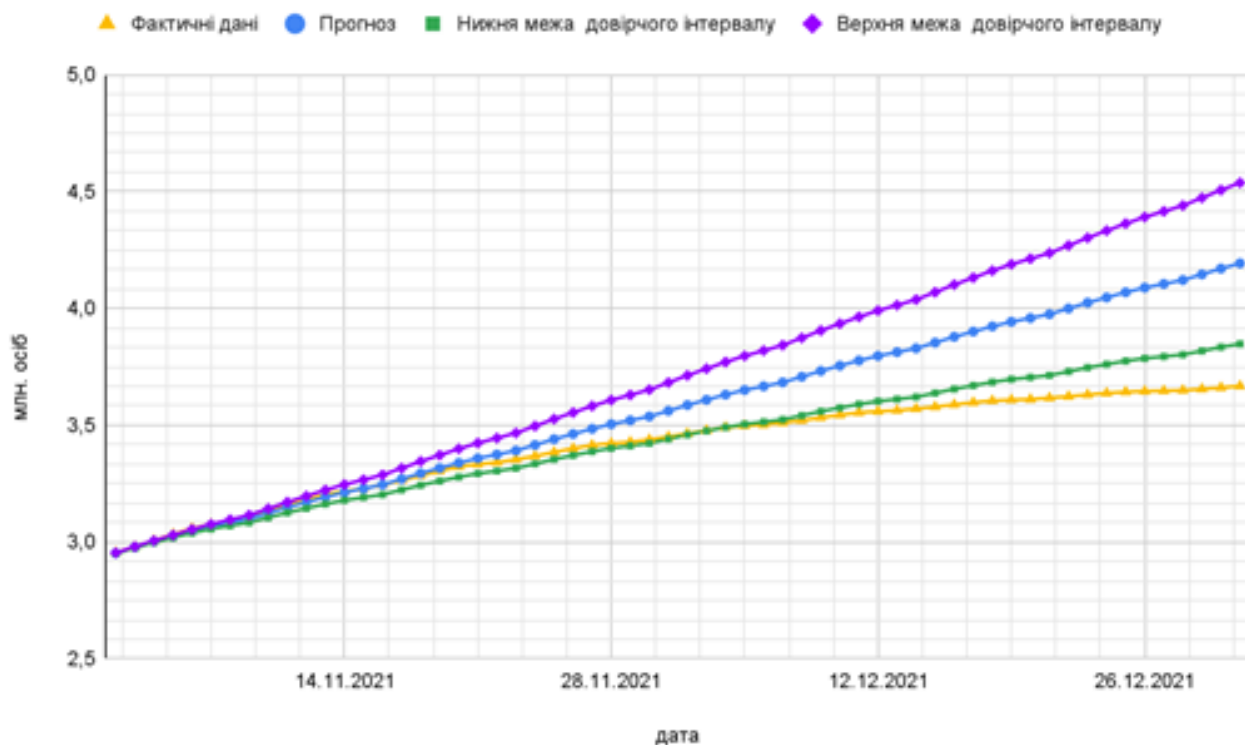


Рис 6. Фактичні та прогнозовані значення захворюваності на COVID-19 на 60-денному інтервалі (період 01.11.2021-31.12.2021).

часового інтервалу прогнозування до 60 днів точність моделей суттєво знижується, що вказує на обмеження ARIMA-моделей у довгострокових прогнозах.

Суттєвим чинником, який впливає на точність прогнозу, є відсутність у моделі зовнішніх регресорів, таких як рівень вакцинації, карантинні заходи, оснащення і забезпечення лабораторій, сезонні коливання тощо. Урахування цих параметрів потребує впровадження складніших моделей, здатних інтегрувати додаткові ознаки або нейронні мережі.

Здійснене дослідження мало на меті

передусім продемонструвати можливості аналізу відкритих епідеміологічних даних за допомогою хмарних технологій та BigQuery, і не забезпечує готовий інструмент для практичного використання в системі охорони здоров'я. Водночас отримані результати підтверджують потенціал такого підходу для подальшого розвитку аналітики в галузі громадського здоров'я, зокрема в контексті оперативного моніторингу та прогнозування поширення епідемій та прийняття управлінських рішень.

Перспективи подальших досліджень

Подальший розвиток дослідження передбачає використання комплексних моделей з урахуванням зовнішніх факторів, а також масштабування аналізу на інші регіони та захворювання.

Список використаних джерел

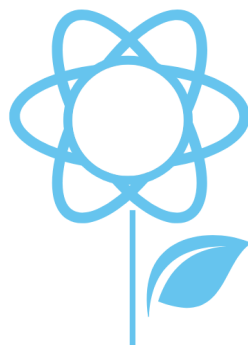
1. Campbell TW, Wilson MP, Roder H, MaWhinney S, Georgantas RW, Maguire LK, Roder J, Erlandson KM. Predicting Prognosis in COVID-19 Patients using Machine Learning and Readily Available Clinical Data. Int J Med Inform. Bepec. 2021 [дата звернення 10 грудня 2024]:104594. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2021.104594>.
2. Hale T, Angrist N, Goldszmidt R, Kira B, Petherick

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

- A, Phillips T, Webster S, Cameron-Blake E, Hallas L, Majumdar S та ін. A global panel database of pandemic policies (Oxford COVID-19 Government Response Tracker). Nat Hum Behav. 2021 [дата звернення 10 грудня 2024];5(4):529-538. <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01079-8>.
3. Dong E, Du H, Gardner L. An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. Lancet Infect Dis. 2020 [дата звернення 10 грудня 2024];20(5):533-534. [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(20)30120-1).
4. Google Cloud. BigQuery ML documentation - <https://cloud.google.com/bigquery-ml>
5. SatuMdSetal.Short-TermPredictionofCOVID-19Cases Using Machine Learning Models. Applied Sciences. 2021 [дата звернення 10 грудня 2024];11(9):4266. <http://dx.doi.org/10.3390/app11094266>.
6. Kamalov F, Rajab K, Cherukuri A, Elnagar A, Safaraliev M. Deep Learning for Covid-19 Forecasting: state-of-the-art review. Neurocomputing. Верес. 2022 [дата звернення 10 грудня 2024]. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.09.005>.
7. COVID-19 cases | WHO COVID-19 dashboard. datadot. URL: <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?n=c> (дата звернення 10 грудня 2024).
8. Коронавірусна інфекція COVID-19 | Центр громадського здоров'я. Центр громадського здоров'я України | МОЗ. URL: <https://phc.org.ua/kontrol-zakhvoryuvan/inshi-infekciyni-zakhvoryuvannya/koronavirusna-infekciya-covid-19> (дата звернення 10 грудня 2024).
9. Ukraine COVID - Coronavirus Statistics - Worldometer. Worldometer - real time world statistics. URL: <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/ukraine/> (дата звернення 10 грудня 2024).
10. What Is Google Health? - Google Health. URL: <https://health.google.com/covid-19/open-data/explorer/statistics> (дата звернення 10 грудня 2024).

References

1. Campbell TW, Wilson MP, Roder H, MaWhinney S, Georgantas RW, Maguire LK, Roder J, Erlandson KM. Predicting Prognosis in COVID-19 Patients using Machine Learning and Readily Available Clinical Data. Int J Med Inform. Верес. 2021 [дата звернення 10 грудня 2024];104:594. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2021.104594>.
2. Hale T, Angrist N, Goldszmidt R, Kira B, Petherick A, Phillips T, Webster S, Cameron-Blake E, Hallas L, Majumdar S та ін. A global panel database of pandemic policies (Oxford COVID-19 Government Response Tracker). Nat Hum Behav. 2021 [дата звернення 10 грудня 2024];5(4):529-538. <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01079-8>.
3. Dong E, Du H, Gardner L. An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time. Lancet Infect Dis. 2020 [дата звернення 10 грудня 2024];20(5):533-534. [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(20\)30120-1](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(20)30120-1).
4. Google Cloud. BigQuery ML documentation - <https://cloud.google.com/bigquery-ml>
5. SatuMdSetal.Short-TermPredictionofCOVID-19Cases Using Machine Learning Models. Applied Sciences. 2021 [дата звернення 10 грудня 2024];11(9):4266. <https://doi.org/10.3390/app11094266>.
6. Kamalov F, Rajab K, Cherukuri A, Elnagar A, Safaraliev M. Deep Learning for Covid-19 Forecasting: state-of-the-art review. Neurocomputing. Верес. 2022 [дата звернення 10 грудня 2024]. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2022.09.005>.
7. COVID-19 cases WHO COVID-19 dashboard. datadot. URL: <https://data.who.int/dashboards/covid19/cases?n=c> (дата звернення 10 грудня 2024).
8. Коронавірусна інфекція COVID-19 | Центр громадського здоров'я. Центр громадського здоров'я України | МОЗ. URL: <https://phc.org.ua/kontrol-zakhvoryuvan/inshi-infekciyni-zakhvoryuvannya/koronavirusna-infekciya-covid-19> (дата звернення 10 грудня 2024).
9. Ukraine COVID - Coronavirus Statistics - Worldometer. Worldometer - real time world statistics. URL: <https://www.worldometers.info/coronavirus/country/ukraine/> (дата звернення 10 грудня 2024).
10. What Is Google Health? - Google Health. URL: <https://health.google.com/covid-19/open-data/explorer/statistics> (дата звернення 10 грудня 2024).



УДК 378.147.016:577.3:614.253.4

DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.III.1](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.III.1)

Розвиток та вдосконалення soft skills студентів-медиків шляхом вивчення медичної та біологічної фізики

Володимир Федів

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

Олена Олар

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

Буковинський державний медичний університет

Ключові слова:

soft skills;
медична та біологічна
фізика;
індивідуальна самостійна
робота;
загальні компетентності;
професійні компетентності.

Анотація

Здобувачі медичної освіти повинні бути готові не тільки до вирішення складних професійних завдань у майбутній професії, але й працювати в мультидисциплінарних командах, адаптуватися до нових технологій і здобувати нові знання та навички, коли це необхідно. Ці компетенції, зазвичай відомі як soft skills («м'які навички»), підкріплені різними методологіями та інструментами, за останні два десятиліття увійшли у навчальний процес.

У цьому дослідженні з'ясовується можливість формування soft skills при викладанні дисципліни «Медична та біологічна фізика», як складової комплексу природничих дисциплін здобувачами освіти медичного ЗВО у 2023-2024 навчальному році.

У статті представлені дані результатів анонімного опитування, проведеного серед здобувачів освіти, які погодилися взяти участь в опитуванні. Більшість респондентів відзначили розвиток та вдосконалення власних soft skills при засвоєнні дисципліни «Медична та біологічна фізика», при цьому підкреслюючи важливу роль викладача.

Здобувачі освіти, які розвинули нові та вдосконалили існуючі soft skills впродовж вивчення медичної та біологічної фізики зможуть у майбутньому спроектувати набутий досвід на досягнення необхідних професійних компетентностей.

Цитування:

Федів В, Олар О. Розвиток та вдосконалення soft skills студентів-медиків шляхом вивчення медичної та біологічної фізики. *Природничі, математичні науки та освіта в медицині* 1 (2) 2025 37-49
DOI: [10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.III.1](https://doi.org/10.24061/3083-5887.j.nmsmme.2025.2.III.1)



Medical students soft skills development and improvement by studying of medical and biological physics

Volodymyr Fediv

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

Olena Olar

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

Bukovinian State Medical University. Chernivsti, Ukraine

Keywords:

soft skills;
medical and biological physics;
individual independent work;
general competencies;
professional competencies

Abstract

Medical students have to prepare for complex professional tasks solving in future. But on the other hand, they have to be ready to work in multidisciplinary teams, to adapt to new technologies and be able to acquire new knowledge and skills when it is necessary. These competencies, known as “soft skills”, have been included in the higher education over the past two decades using various methodologies and tools.

This research examines the effectivity of “soft skills” forming during the study of the subject “Medical and Biological Physics” as a component of a complex of natural sciences by medical students of the 2023-2024 academic year.

The article presents data of the results of an anonymous survey conducted among students who agreed to participate in the survey. Most respondents admitted that their “soft skills” were developed and improved by studying subject “Medical and Biological Physics”.

Students who have developed new and improved existing “soft skills” during the study of medical and biological physics will be able in the future to design the acquired experience to achieve the necessary professional competencies.

Зміст

Вступ	38
Основна частина	41
Висновки	46
Список використаних джерел	47

Перелік скорочень:

SSk - Soft skills

ЗК - загальні компетентності

STEM, CTEM - Science, Technology, Engineering and Mathematic

ЗВО - заклад вищої освіти

Вступ

SSk – «м'які» навички — це базові та професійного успіху широко визнані навички, які належить людині. У сучасну епоху важливість м'яких навичок як індивідуальний аспект, який складається з внутрішньоособистісних та міжособистісних

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

аспектів, що вирізняє особу від інших людей у спільноті. У [3] SSk визначено як комбінація компетенцій, які стосуються різних аспектів особистості та пов'язані з: 1) знаннями, здібностями та технічними навичками (знаннями); 2) методологічними підходами до робочих процесів (вміннями); 3) індивідуальними та колективними моделями і формами поведінки (презентація знань); 4) методами організації та взаємодії (вироблення поведінки).

SSk існували завжди, проте визнання їхньої важливості для професійного зростання і, як наслідок, їх об'єднання в одну категорію відбулося лише в другій половині XX століття. Термін «м'які навички» був створений у середовищі військової підготовки армії США у 1970-х роках, щоб узагальнено визначити риси поведінки, які покращують продуктивність людей у «технічних функціях» (посилення фаховості військових) і командній роботі [4]. Було відзначено, що люди з певним набором непрофесійних якостей володіють кращою адаптивністю і, як наслідок, вони досягають більших успіхів.

Інтенсивний технологічний розвиток обумовлює підвищення вимог до готовності фахівця приймати зміни та адаптуватися до них, що ґрунтується володінням SSk. Добре розвинені SSk є, безперечно, запорукою успіху професійної кар'єри. Фахівці, які володіють SSk, швидко адаптуються до нових умов і креативніше підходять до вирішення завдань. Тому перед закладами освіти стоїть завдання, з одного боку, якісного професійного навчання, з іншого, розвитку SSk здобувачів освіти.

SSk і наукова грамотність – це дві компетенції, які є метою наукової освіти XXI століття й тому необхідні сучасному здобувачеві освіти. Освітня діяльність повинна бути орієнтована на досягнення у навчанні в цих двох аспектах, а освоювати такі форми навичок у студентський час життя важливо, адже це початок найактивнішого періоду розвитку особистості [5].

У цілому, розуміння того, що слід визнавати SSk, дуже відрізняється і їхнє сприйняття різними фахівцями залежатиме від контексту діяльності. Навичка може вважатися м'якою в одній конкретній сфері, і «жорсткою» – в іншій.

Попри інтерес до впровадження в навчальні програми SSk, немає уніфікованого розуміння того, як навчати цих навичок чи оцінювати їх. Способи навчання та оцінювання цих навичок у різних країнах і закладах освіти дуже різноманітні [6], тому ці питання потребують вивчення.

Загалом, SSk можна розділити на три основні категорії:

1. Особистісні якості.
2. Навички міжособистісного спілкування.
3. Додаткові навички/знання.

На всесвітньому економічному форумі у 2016 році було оголошено найважливіші соціально-економічні компетенції освіти XXI століття для вирішення складних завдань: критичне мислення, вміння розв'язання проблем, креативність, комунікація та співпраця [7].

Відповідно до досліджень, проведених у Стенфорді, встановлено, що успіх людини лише на 25% залежить від її знань у галузі та досвіду і на 75% – на комунікативні навички та міжособистісні якості, які визначають ефективність їх SSk. Це є ознакою того, що сучасне суспільство високо цінує SSk. І хоча рівень освіти та кваліфікації є важливими критеріями для оцінки компетентності особи, вони є лише необхідними умовами [8].

У [9] визначено порівняння 10 найбільш важливих SSk у 2015 та 2020 роках. (Таблиця 1)

Очевидним залишається факт першості в структурі навичок можливості комплексного розв'язання проблеми. Помітним пріоритетом, останнім часом, при оцінці компетентності користується креативний фахівець з вмінням керувати емоційним інтелектом. Також

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

Таблиця 1. Десять найбільш важливих SSk у 2015 та 2020 роках)

	2015	2020
1	комплексне розв'язання проблеми	комплексне розв'язання проблеми
2	координація з іншими	критичне мислення
3	керування людьми	креативність
4	критичне мислення	керування людьми
5	вміння вести переговори	координація з іншими
6	контроль якості	емоційний інтелект
7	сервісна орієнтація	судження і прийняття рішень
8	судження і прийняття рішень	сервісна орієнтація
9	активне слухання	вміння вести переговори
10	креативність	когнітивна гнучкість

у десятці SSk, що мають найбільший попит — когнітивна гнучкість, що безперечно передбачає навчання впродовж всього життя та вміння нарошувати жорсткі (професійні) навички.

У [10] проведено огляд літератури щодо різних аспектів м'яких навичок у працевлаштуванні випускників. Отже, є кілька причин важливості навчати та тренувати здобувачів освіти SSk. З одного боку, зараз роботодавці цінують SSk досить високо. Звичайно професійні навички важливі для виконання конкретних професійних завдань, але м'які навички необхідні для співпраці, командної роботи, лідерства та ефективного спілкування на робочому місці. Таким чином, сьогодні доволіна освітньо-професійна програма підготовки фахівців незалежно від напрямку проєктує вимоги суспільства щодо володіння SSk та інтегрує ці навички у політику освітньої системи, зокрема у переліках загальних компетентностей, які повинні набуватися здобувачем освіти у період навчання. Тому пошук шляхів опановування SSk залишається актуальним і може посилюватися через практикування здобувачами освіти цих навичок у різних аспектах професійної підготовки, елементах самоврядування та ін. З іншого боку, SSk забезпечують

значні переваги в усіх аспектах життя, включаючи сім'ю та суспільство, формування загальнолюдських цінностей.

Праць, присвячених формуванню SSk у студентів-медиків у цілому [11-16], а також дисциплінами суспільно-гуманітарного профілю [17-18], зокрема, досить багато, оскільки саме цей блок дисциплін позиціюють як засіб для опанування SSk. Усі компоненти SSk вважаються потрібними студентам при вивченні природничих наук [19] проте досліджень, присвячених формуванню SSk дисциплінами природничо-математичного напрямку і того, чи вважають здобувачі освіти можливим формування таких навичок блоком цих дисциплін нами не виявлено.

Відношення викладачів природничих наук до формування у здобувачів освіти SSk досліджено у [19], у [20-22] висвітлені психолого-педагогічні інструменти викладача та особливості викладання дисципліни природничого профілю, а у [23] психологічний портрет викладача дисципліни природничого профілю. Робіт присвячених формуванню у здобувачів освіти SSk викладачами природничих напрямків також не знайдено.

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

Мета і завдання дослідження

Метою даного дослідження було з'ясування можливості формування SSk у здобувачів медичної освіти при вивченні дисципліни з фізико-математичною компонентою — медичної та біологічної фізики з використанням педагогічних інструментів, які є в арсеналі викладача природничої дисципліни, шляхом опитування здобувачів медичної освіти.

Основна частина

Підготовка звіту, вміння презентувати колегам результати своєї роботи, дотримання строків поставлених завдань та ін. – важливі вимоги до претендентів на різні посади в різних галузях. Роботодавці на медичному ринку послуг часто вказують у вимогах для претендентів на здобуття певних посад, окрім професійних вимог також вміння планувати й керувати виконанням власних робіт, працювати в команді й з різними зацікавленими особами, стійкість емоційного стану та ін. Етап життя, пов'язаний з періодом здобуття освіти, повинен закласти нові й розвинуті наявні SSk здобувачів освіти для успішної їх реалізацій у професійній кар'єрі.

Сьогодні згідно зі Стандартом вищої освіти другого (магістерського) рівня, галузь знань 22 Охорона здоров'я, спеціальність 222 Медицина [24] здобувач освіти повинен опанувати 15 обов'язкових ЗК. Вони цілком корелюють з вимогами до володіння SSk, які сьогодні презентуються як найактуальніші.

Дисципліна «Медична та біологічна фізика», згідно з освітньо-професійною програмою (матриці відповідності програмних компетентностей компонентам освітньої програми) прямо забезпечує:

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1);
- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК2);
- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК3);
- знання та розуміння предметної галузі та розуміння професійної діяльності (ЗК4)
- здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК6)

- здатність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних джерел (ЗК 11).

Глибший аналіз необхідних здобувачеві освіти загальних компетентностей виявить потенційний опосередкований вплив дисципліни «Медична та біологічна фізика» на здобуття інших ЗК, тому до загального їх переліку можна зарахувати й опанування наступних компетентностей:

- здатність працювати в команді (ЗК7).
- здатність до міжособистісної взаємодії (ЗК8).
- здатність використовувати інформаційні і комунікаційні технології (ЗК10).
- визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків (ЗК12).
- здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя (ЗК15).

Це означає, що медична освіта повинна зосереджуватися на підготовці фахівців для інтелектуального інформаційного суспільства, і навчати їх бути більш компетентними з погляду творчості, розв'язання проблем, самоуправління та співпраці, а також емоційної компетентності.

При вивченні дисципліни «Медична та біологічна фізика», як СТЕМ-компоненти медичної освіти викладацький склад кафедри медичної та біологічної

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

фізики і медичної інформатики Буковинського державного медичного університету прагне максимально залучити середовище здобувачів освіти й до набуття SSk, які важливі на рівні з професійними. З цією метою студенти залучаються до різних видів активності, маючи змогу покращувати свою поточну успішність, отримуючи бали за індивідуальні види робіт та водночас розвивати SSk.

SSk це не тільки перелік запропонованих вище навичок, а і їх розгалуження. Впродовж останніх років здобувачам освіти в якості індивідуальної самостійної роботи, яка в системі оцінювання є додатковим елементом (відображено в програмах навчальних дисциплін), запропоновано різні види діяльності: участь у студентських наукових конференціях; участь в олімпіаді; підготовка матеріалів для науково-популярних видань, що популяризують природничі дисципліни; відеоматеріалів, які стосуються пояснення фрагмента теми або виконання практичних робіт та ін. Всі ці види робіт, безперечно, пов'язані з «жорсткими» навичками, але досягнення мети потребує різнопланових SSk. Зв'язок між загальними SSk, які набувають

комунікаційні	• можливості публічних виступів • презентація роботи • участь в обговоренні
командна робота	• відповідальність за якісне виконання фрагменту спільної великої роботи • лідерські якості
обізнаність	• формування самооцінки • самопрезентація • власні судження з широкого кола питань
вирішення завдань	• постановка проблеми • критичне і системне мислення • аналіз даних

Рис. 1. Зв'язок між загальними SSk, що набуваються залежно від видів виконуваних робіт при вивченні дисципліни природничого профілю та результатом у вигляді конкретних досягнень здобувача освіти.

студенти залежно від видів виконуваних робіт при вивченні дисципліни природничого профілю та результатом у вигляді конкретних здобутків здобувача освіти можна представити схемою (Рис. 1):

Наведемо відповідність SSk, що формуються у здобувачів освіти медичного закладу вищої освіти за різними напрямками підготовки, які сприяють особистісному прогресу здобувача освіти при вивченні STEM-дисциплін з фізико-математичною компонентою на кафедрі медичної та біологічної фізики і медич-

Таблиця 2.

Відповідність між SSk, що набуваються здобувачами освіти та які сприяють їхньому особистісному прогресу й видами активності, запропонованими при вивченні дисциплін з фізико-математичною компонентою

SSk	Сприяння особистісному прогресу	Види активності здобувачів освіти при вивченні дисциплін з фізико-математичною компонентою, що сприяють набуттю SSk
Широкий кругозір	Легкість пристосування; нарощування об'єму професійної лексики (когнітивна гнучкість), креативність	- використання різних джерел підготовки до занять; - інтеграція спеціальних знань дисципліни в майбутню професійну активність через виконання різноманітних індивідуальних завдань;
Неупередженість	Прийняття змін, керування власним емоційним інтелектом	- виконання індивідуальних самостійних завдань, які потребують багато уточнень, пошуку фінального результату методом спроб і помилок; - оцінювання методик викладання та психолого-педагогічних інструментів, які використовують викладачі

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

Таблиця 2.

Відповідність між SSk, що набуваються здобувачами освіти та які сприяють їхньому особистісному прогресу й видами активності, запропонованими при вивченні дисциплін з фізико-математичною компонентою

SSk	Сприяння особистісному прогресу	Види активності здобувачів освіти при вивченні дисциплін з фізико-математичною компонентою, що сприяють набуттю SSk
Сприйнятливність	Здоровий рівень скептицизму	навчання розрізняти джерела отримання інформації та способи перевірки їх достовірності (доказовості)
Комунікація	Стили спілкування, письмові стилі (науковий, науково-популярний) нарощування словникового запасу професійної термінології	- участь у роботі студентського наукового гуртка (представлена доповідь), - підготовка і подання тез наукових конференцій, матеріалів до науково-популярних видань
Логічне мислення	Критичне мислення	аналіз результатів розв'язування ситуаційних та професійно-спрямованих задач у рамках дисципліни
	Аналітичне мислення	побудова причинно-наслідкових зв'язків з допомогою викладачів
Зацікавленість	Зростання внутрішньої мотивації до навчання	- формулювання запитань викладачеві для отримання необхідних пояснень; - пошук та вивчення необхідних для виконання індивідуальної роботи інформаційних ресурсів, комунікаційних засобів та засобів виконання роботи (мобільних додатків, комп'ютерних програм)
Колегіальність, співпраця, комунікація, креативність	Пошук підходу до людей, вміння працювати в команді	- підготовка презентаційних відеоматеріалів для пояснення складних та важливих елементів тем, що вивчаються, відносно доступними та зрозумілими засобами; - виконання практичних робіт у груповій співпраці
Індивідуалізм, публічність, лідерство	Змагальний інтерес самопрезентація	- участь у предметній олімпіаді; - координатор групової роботи над спільним завданням; - участь у роботі студентського наукового гуртка;
Чесність Відповідальність,	Відповідальний підхід до поставленого завдання, само- та взаємооцінювання	- запобігання академічній недоброчесності під час контрольних заходів, - підготовки матеріалів для публікацій (запобігання плагіату, згенерованих штучним інтелектом даних)
Стійкість, керування часом	Здатність стійко витримувати складнощі навчання студента першого року підготовки у медичному закладі вищої освіти	- підготовка повних комплексів матеріалів до занять, враховуючи їх об'єм і часто недостатній рівень базової підготовки; - підготовка доповіді на гурток чи іншого елементу індивідуальної самостійної роботи, які вимагають самоорганізації й часу на виконання

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

ної інформатики БДМУ з видами активності, які пропонують здобувачам освіти для набуття таких навичок і використовують викладачі кафедри (Таблиця 2).

З метою виявлення ролі та місця фізико-математичної компоненти (на прикладі вивчення дисципліни “Медична та біологічна фізика”) у формуванні SSk, враховуючи їх значну неоднорідність було розроблено анкету із запитаннями та проведено опитування здобувачів освіти на стадії завершення навчання. В опитуванні погодились взяти участь 75 респондентів — студенти 1 та 2 курсів спеціальності “Медицина”- (співвідношення дівчата/юнаки 69,3%/31,7%). Переважна більшість — молоді люди 17-18 років, 21,4% - 19-20 річні. Проводилося онлайн-опитування використовуючи Google форми.

структуроване, логічне мислення, критичне мислення, стійкість до труднощів, здатність аналізувати, здатність систематизувати, стресостійкість, досягнення мети, самоорганізація, відповідальність, навичка роботи з новими мобільними додатками або комп'ютерними програмами, інше). За результатами опитування: перелік SSk, які у першу чергу опитувані хотіли б розвивати, представлені на Рис 2.

Практично половина опитаних хочуть розвивати критичне (54,7%) та структуроване, логічне мислення (53,3%). Будучи студентами першого року навчання, які пройшли складний перехід до форм, методів і засобів навчання у системі вищої освіти, половина опитаних прагнуть навчитися правильно планувати свій час (50,7%) і сформувати стресостій-

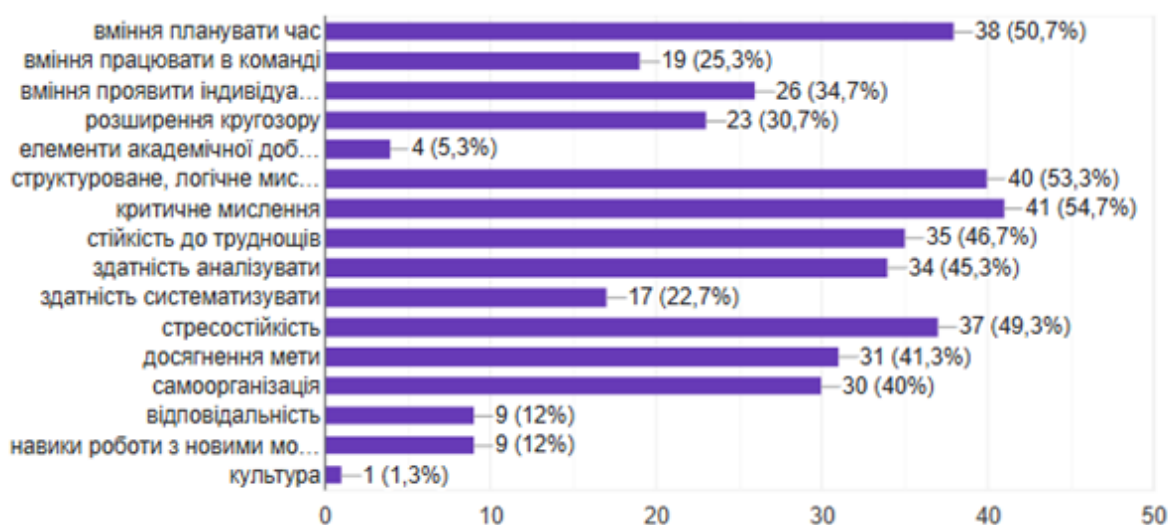


Рис. 2. Розподіл важливості навичок, виділених респондентами при опитуванні

Анкету було надіслано електронною поштою здобувачам освіти, які вивчали у поточному навчальному році (2023/2024 н.р.) медичну та біологічну фізику.

Для встановлення результату було запропоновано вибрати не більше 5 навичок з переліку (вміння планувати час, вміння працювати в команді, вміння проявити індивідуальні якості (індивідуалізм, лідерство, розширення кругозору, елементи академічної доброчесності,



Рис. 3. Розподіл відповідей здобувачів освіти щодо впливу дисципліни “Медична та біологічна фізика” на формування SSk

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

кість (49,3%) та стійкість до труднощів (46,7%). На запитання «Чи сприяло вивчення дисципліни «Медична та біологічна фізика» набуттю soft skills?» позитивну відповідь дали 62,6% респондентів (Рис.3.). Це пов'язано зі значною активністю здобувачів освіти у виконанні індивідуаль-

матеріалів для науково-популярної газети «Медична фізика, техніка та інформатика» у відповідному році навчання.

Навички, вказані здобувачами освіти, як такі, що почали формуватися під час вивчення дисципліни «Медична та біологічна фізика» представлені діаграмою на Рис 4.

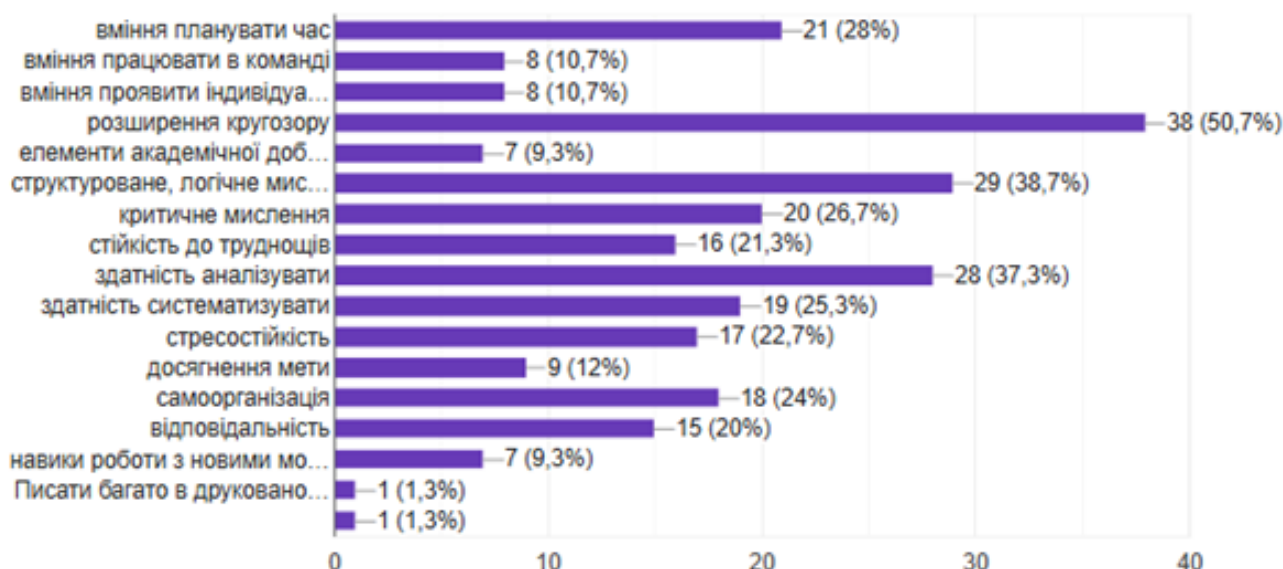


Рис. 4. Розподіл навичок, які на думку першокурсників, почали формуватися під час вивчення дисципліни «Медична і біологічна фізика»

ної самостійної роботи щодо поповнення мультимедійного навчального фонду, участі в предметній олімпіаді, публікації тез наукових конференцій та підготовки

Примітним є той факт, що найбільший відсоток опитаних (52%) відмітили, що навички структурованого, логічного мислення вдосконалювалися під час

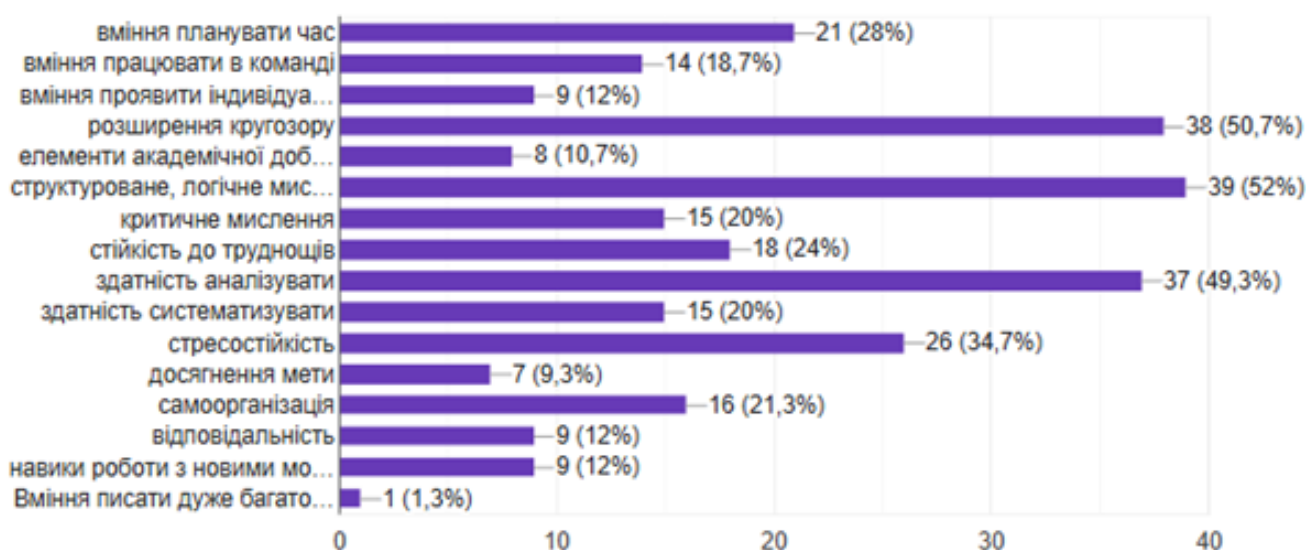


Рис. 5. Розподіл навичок, які на думку першокурсників, вдосконалювалися під час вивчення дисципліни «Медична і біологічна фізика»

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

вивчення дисципліни, також половина респондентів вважають, що вивчення медичної та біологічної фізики розширило їх кругозір (50,7%) та здатність аналізувати (49,3%). Для третини студентів (34,7%) дисципліна була випробуванням щодо подолання стресу. Це може бути ознакою того, що здобувачі освіти не очікують побачити в переліку дисциплін свого навчального плану навчальні курси пов'язані з фізикою, а отже не цікавилися наповненням професійних програм до вступу у медичний ЗВО. Роль викладача у формуванні SSk здобувачі освіти оцінюють дуже високо (98,7% позитивних відповідей) (рис. 6). Отже, психологічний і професійний портрет викладача повинен відповідати їх очікуванням. Викладач може і повинен бути взірцем для здобувача освіти в плані володіння SSk.

При цьому респонденти наголошують, що «абсолютно всі навички, які формуються у здобувачів освіти більшою чи меншою мірою залежать від особистості викладача» (відповідь з анкети).

Також здобувачі освіти вказують на те, що саме викладач підтримує рівень мотивації студента; розвиває комунікативні навички не тільки з огляду здатності студента роботи в групі, а й своїми ораторськими навичками, вмінням пояснити складні речі простими словами, вираженням емоційного інтелекту, закладенням розвитку професійного мислення та мовлення; надає можливість проявити креативність, творчість через власний приклад використовувати нові методи викладання та нестандартні підходи для вирішення різних завдань.

Отже, розвиток потенціалу здобу-

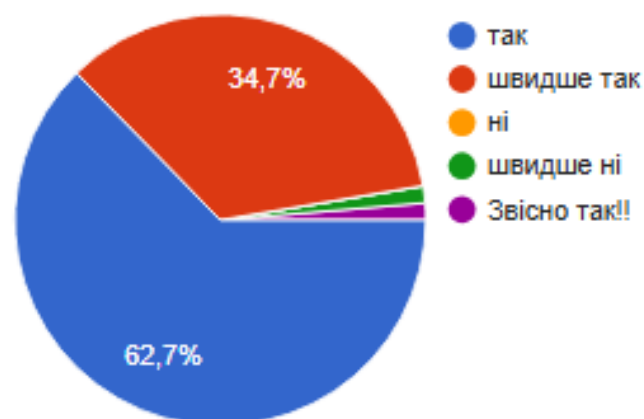


Рис. 6. Розподіл відповідей здобувачів освіти щодо впливу особистості викладача на формування SSk.

вача освіти може розглядатися, як проєкція потенціалу викладача, який своїм прикладом може надихати, заохочувати, розвивати та ін. На основі практичного досвіду зі студентами можна сформулювати наступні практичні рекомендації для викладачів природничо-математичного циклу дисциплін медичних закладів вищої освіти щодо сприяння формуванню SSk у здобувачів медичної освіти: 1) розглянути можливості внесення до робочих програм навчальних дисциплін індивідуальних самостійних робіт; 2) сприяти студенту з вибором теми індивідуальної роботи з врахуванням його особистісних зацікавленостей у його майбутній сфері діяльності; 3) мотивувати студента досліджувати проблеми з його майбутньої сфери діяльності, використовуючи знання набуті при вивченні дисципліни «Медична та біологічна фізика», що сприяє розвитку внутрішньогалузевої профорієнтації серед здобувачів освіти.

Висновки

Отже, дисципліна «Медична та біологічна фізика» формує у здобувачів медичної освіти SSk: розширює кругозір, розвиває критичне мислення, сприяє розвитку навички аналізу та ін. SSk набуті при виконанні запропонованих сту-

дентам позааудиторних, індивідуальних робіт і у процесі підготовки до занять при вивченні медичної та біологічної фізики дозволять майбутнім фахівцям у галузі охорони здоров'я гармонійно працювати в динамічному професійному

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

середовищі. Виконання цих видів робіт спонукатиме їх долучатися до аналогічних на наступних курсах, проєктуючи набутий досвід на нові ситуації.

Список використаних джерел

1. Ngo TTA. The Importance of Soft Skills for Academic Performance and Career Development—From the Perspective of University Students. *Int J Eng Pedagog (iJEP)*. 2024;14(3):53–68. <https://doi.org/10.3991/ijep.v14i3.45425>.
2. Susilawati S, Aznam N, Paidi H. Integrated Soft Skill and Scientific Literacy Based on 21st Century Skill. 4th International Seminar on Science Education (ISSE) Universitas Negeri Yogyakarta; 13 жовт. 2018; Indonesia. Universitas Negeri Yogyakarta; 2018. С. 305–316. https://www.researchgate.net/publication/343523612_Integrated_Soft_Skill_and_Scientific_Literacy_Based_on_21_st_Century_Skill.
3. Rodríguez Martínez A, Sierra Sánchez V, Falcón Linares C, Latorre Cosculluela C. Key Soft Skills in the Orientation Process and Level of Employability. *Sustainability*. 2021;13(6):3554. <https://doi.org/10.3390/su13063554>.
4. Trevelin ATC, Neto AC, De Freitas Censoni PG. Work Disruptions and Skill Shifts: Insights on the Characterization, Importance and Development of Soft Skills. *Eur J Dev Stud*. 2023;3(4):15–23. <https://doi.org/10.24018/ejdevelop.2023.3.4.275>.
5. Horkun K Soft skills development as the number one priority for the 21st century. *Topical Issues of Humanities, Technical and Natural Sciences* 2019:142–145.
6. Caeiro-Rodriguez M та ін. Teaching Soft Skills in Engineering Education: An European Perspective. *IEEE Access*. 2021;9:29222–29242. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3059516>.
7. The Future of Jobs Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution. *World Economic Forum*. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf.
8. Stanford University. (2018), Communications: Stanford Facts at a Glance, Stanford University Facts. URL: https://swap.stanford.edu/was/20180312175846mp/http://facts.stanford.edu/pdf/StanfordFacts_2018.pdf.
9. World Economic Forum, 2016 <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-10-skills-you-need-to-thrive-in-the-fourth-industrial-revolution/>.
10. Jasim Mohammed Z, Jasim Alsadaji A, Fadhil Al-Saadi S, Al-Fayyadh S. Components of Soft Skills for University Students in the 21st Century: An Overview of Literature Review. *Med Edu Bull* 2023; 4(1): 601-9. <https://doi.org/10.22034/MEB.2023.389121.1076>
11. Krüger A та ін. Vermittlung von „soft skills“ für Belastungssituationen. *Anaesthesist*. 2009;58(6):582–588. <https://doi.org/10.1007/s00101-009-1511-6>.
12. Zayapragassarazan Z. Understanding Soft Skills to Create Better Doctors. 2022;12:1-3. URL: https://www.researchgate.net/publication/361734304_Understanding_Soft_Skills_to_Create_Better_Doctors.
13. Sancho-Cantus D, Cubero-Plazas L, Botella Navas M, Castellano-Rioja E, Cañabate Ros M. Importance of Soft Skills in Health Sciences Students and Their Repercussion after the COVID-19 Epidemic: Scoping Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(6):4901. <https://doi.org/10.3390/ijerph20064901>.
14. Kim SH, Shin S. Social-Emotional Competence and Academic Achievement of Nursing Students: A Canonical Correlation Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(4):1752. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041752>.
15. Widad A, Abdellah G. Strategies Used to Teach Soft Skills in Undergraduate Nursing Education: A Scoping Review. *J Prof Nurs*. 2022;42:209–218. <https://doi.org/10.1016/j.profnurs.2022.07.010>.
16. Боровик К та ін. Формування Soft Skills в освітньому процесі вищої медичної школи. У: Актуальні питання лінгвістики, професійної лінгводидактики, психології і педагогіки вищої школи; 25–26 листоп. 2021; Полтава, Україна. Астроя; 2020. С. 36–39. URL: <https://repository.pdmu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/dfc79a25-2f15-4800-9ea6-af64558f4ee4/content>.
17. Ngo Thi Hong Linh Practicing Soft Skills for Medical Students in English Speaking Lessons at Danang University of Medical Technology and Pharmacy. *Int. J. Multidis Cur Edu Res (IJMCER)* 2023. 5(4):29–35. URL: https://www.ijmcer.com/wp-content/uploads/2023/07/IJMCER_D054029035-1.pdf.
18. Некрашевич ТВ. Формування soft skills у студентів закладів вищої медичної освіти в процесі вивчення латинської мови та медичної термінології. *Current Trends in the Study and Teaching of Foreign Languages: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Online Conference (Poltava, 04 June 2021)*. Poltava: Astraya, 2021. P. 159–161. URL: <https://repository.pdmu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/cb80f4d8-93a1-4beb-aacd-47e537590200/content>.
19. Susilawati, Aznam N, Paidi, Ngadimin. Teachers' perspectives toward soft skills in science learning. *J Phys*. 2020;1460:012111. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1460/1/012111>.
20. Федів ВІ, Олар ОІ, Бірюкова ТВ. Психолого-педагогічні інструменти викладача природничих дисциплін при підготовці здобувача вищої медичної освіти. *Вісник університету імені Альфреда Нобеля. Серія: Педагогіка*

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

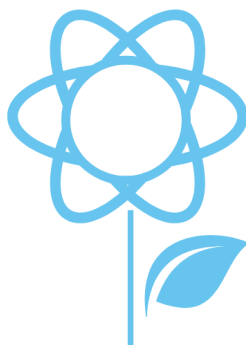
- і психологія. Педагогічні науки. 2022;1(23):223–229. <https://doi.org/10.32342/2522-4115-2022-1-23-26>.
21. Федів ВІ, Олар ОІ, Бірюкова ТВ. Психолого-педагогічні особливості викладання дисципліни «Медична та біологічна фізика». Вісник Університету імені Альфреда Нобеля. Серія: Педагогіка і психологія. 2022;2(24):132–139. <https://doi.org/10.32342/2522-4115-2022-2-24-14>.
22. Федів ВІ, Олар ОІ, Бірюкова ТВ. Психолого-педагогічні аспекти викладання медичної та біологічної фізики. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. 2023;1(208):63–68. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2023-1-208-63-68>.
23. Федів В, Олар О, Бірюкова Т. Професійний портрет викладача медичної та біологічної фізики медичного ЗВО. Медико-технічна співпраця заради
- перемоги: Актуальні завдання медичної, біологічної фізики та інформатики. Матеріали доповідей та виступів III всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю 5–6 квітня 2024 року Вінниця. Вінниця: Едельвейс, С.222. URL: <https://drive.google.com/file/d/1w45hNQfHSL-yd3fMo0OSJWtRAITdOMzC/view>.
24. Стандарт вищої освіти другого (магістерського) рівня, галузь знань 22 Охорона здоров'я, спеціальність 222 Медицина. Затверджено та введено в дію наказом Міністерства освіти і науки України від 08.11.2021 р. № 1197. URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2021/11/09/222-Medytsyna.mahistr.09.11.pdf>.

References

1. Ngo TTA. The Importance of Soft Skills for Academic Performance and Career Development—From the Perspective of University Students. *Int J Eng Pedagog (iJEP)*. 2024 [дата звернення 19 берез. 2025];14(3):53–68. <https://doi.org/10.3991/ijep.v14i3.45425>.
2. Susilawati S, Aznam N, Paidi H. Integrated Soft Skill and Scientific Literacy Based on 21st Century Skill. *Y: 4th International Seminar on Science Education (ISSE) Universitas Negeri Yogyakarta*; 13 жовт. 2018; Indonesia. Universitas Negeri Yogyakarta; 2018. с 305–316. https://www.researchgate.net/publication/343523612_Integrated_Soft_Skill_and_Scientific_Literacy_Based_on_21_st_Century_Skill.
3. Rodríguez Martínez A, Sierra Sánchez V, Falcón Linares C, Latorre Cosculluela C. Key Soft Skills in the Orientation Process and Level of Employability. *Sustainability*. 2021 [дата звернення 19 берез. 2025];13(6):3554. <https://doi.org/10.3390/su13063554>.
4. Trevelin ATC, Neto AC, De Freitas Censoni PG. Work Disruptions and Skill Shifts: Insights on the Characterization, Importance and Development of Soft Skills. *Eur J Dev Stud*. 2023 [дата звернення 19 берез. 2025];3(4):15–23. <https://doi.org/10.24018/ejdevelop.2023.3.4.275>.
5. Horkun K. Soft skills development as the number one priority for the 21st century. *Top Issues Humanit Tech Nat Sci*. 2019:142–145.
6. Caeiro-Rodriguez M, Manso-Vazquez M, Mikic-Fonte FA, Llamas-Nistal M, Fernandez-Iglesias MJ, Tsalapatas H, Heidmann O, De Carvalho CV, Jesmin T, Terasmaa J та ін. Teaching Soft Skills in Engineering Education: An European Perspective. *IEEE Access*. 2021 [дата звернення 19 берез. 2025];9:29222–29242. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3059516>.
7. The Future of Jobs Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution. *World Economic Forum*. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf.
8. Stanford University. (2018), Communications: Stanford Facts at a Glance, Stanford University Facts. URL: https://swap.stanford.edu/was/20180312175846mp_/http://facts.stanford.edu/pdf/StanfordFacts_2018.pdf.
9. World Economic Forum, 2016 <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-10-skills-you-need-to-thrive-in-the-fourth-industrial-revolution/>
10. Jasim Mohammed Z, Jasim Alsadaji A, Fadhil Al-Saadi S, Al-Fayyadh S. Al-Fayyadh S. Components of Soft Skills for University Students in the 21st Century: An Overview of Literature Review. *Med Edu Bull*. 2023;4(1):601–609.
11. Krüger A, Gillmann B, Hardt C, Döring R, Beckers SK, Rossaint R. Vermittlung von „soft skills“ für Belastungssituationen. *Anaesthesist*. 2009 [дата звернення 19 берез. 2025];58(6):582–588. <https://doi.org/10.1007/s00101-009-1511-6>.
12. Zayapragassarazan Z. Understanding Soft Skills to Create Better Doctors. 2022;12:1–3. URL: https://www.researchgate.net/publication/361734304_Understanding_Soft_Skills_to_Create_Better_Doctors.
13. Sancho-Cantus D, Cubero-Plazas L, Botella Navas M, Castellano-Rioja E, Cañabate Ros M. Importance of Soft Skills in Health Sciences Students and Their Repercussion after the COVID-19 Epidemic: Scoping Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 [дата звернення 20 берез. 2025];20(6):4901. <https://doi.org/10.3390/ijerph20064901>.
14. Kim SH, Shin S. Social-Emotional Competence and Academic Achievement of Nursing Students: A Canonical Correlation Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 [дата звернення 19 берез. 2025];18(4):1752. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041752>.

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

15. Widad A, Abdellah G. Strategies Used to Teach Soft Skills in Undergraduate Nursing Education: A Scoping Review. *J Prof Nurs.* 2022 [дата звернення 19 берез. 2025];42:209–218. <https://doi.org/10.1016/j.profnurs.2022.07.010>.
16. Borovyk K ta in. Formuvannia Soft Skills v osvitnomu protsesi vyshchoi medychnoi shkoly. U: Aktualni pytannia lnhvistyky, profesiinoi lnhvodydaktyky, psykholohii i pedahohiky vyshchoi shkoly; 25–26 lystop. 2021; Poltava, Ukraina. Astraia; 2020. S. 36–39. URL: <https://repository.pdmu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/dfc79a25-2f15-4800-9ea6-af64558f4ee4/content>
17. Ngo Thi Hong Linh Practicing Soft Skills for Medical Students in English Speaking Lessons at Danang University of Medical Technology and Pharmacy. *Int. J. Multidis Cur Edu Res (IJMCER)* 2023. 5(4):29–35. URL: https://www.ijmcer.com/wp-content/uploads/2023/07/IJMCER_D054029035-1.pdf.
18. Nekrashevych TB. Formuvannia soft skills u studentiv zakladiv vyshchoi medychnoi osvity v protsesi vyvchennia latynskoi movy ta medychnoi terminolohii. *Current Trends in the Study and Teaching of Foreign Languages: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Online Conference (Poltava, 04 June 2021).* Poltava: Astraya, 2021. P. 159–161. URL: <https://repository.pdmu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/cb80f4d8-93a1-4beb-aacd-47e537590200/content>.
19. Susilawati, Aznam N, Paidi, Ngadimin. Teachers' perspectives toward soft skills in science learning. *J Phys.* 2020 [дата звернення 19 берез. 2025];1460:012111. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1460/1/012111>.
20. Fediv VI, Olar OI, Biriukova TV. Psychological and pedagogical instruments for the teacher of nature disciplines in higher medical education. *Bull Alfred Nobel Univ Ser Pedagog Psychol.* 2022 [дата звернення 19 берез. 2025];1(23):223–229. <https://doi.org/10.32342/2522-4115-2022-1-23-26>.
21. Fediv V, Olar O, Biriukova T. Psychological and pedagogical features of teaching medical and biological physics. *Bull Alfred Nobel Univ Ser Pedagog Psychol.* 2022 [дата звернення 20 берез. 2025];2(24):132–139. <https://doi.org/10.32342/2522-4115-2022-2-24-14>.
22. Fediv V, Olar O, Biriukova T. Psychological and pedagogical aspects of teaching medical and biological physics. *Acad Notes Ser Pedagog Sci.* 2023 [дата звернення 19 берез. 2025];1(208). <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2023-1-208-63-68>.
23. Fediv V, Olar O, Biriukova T. Profesiyni portret vykladacha medychnoi ta biolohichnoi fizyky medychnoho ZVO. Medyko-tekhnichna spivpratsia zarady peremohy: Aktualni zavdannia medychnoi, biolohichnoi fizyky ta informatyky. Materialy dopovidei ta vystupiv III vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu 5-6 kvitnia 2024 roku Vinnytsia. Vinnytsia: Edelveis, S.222. URL: <https://drive.google.com/file/d/1w45hNQfHSL-yd3fMo0OSJWtRAITdOMzC/view>.
24. Standart vyshchoi osvity druhoho (mahisterskoho) rivnia, haluz znan 22 Okhorona zdorovia, spetsialnist 222 Medytsyna. Zatverdzheno ta vvedeno v diiu nakazom Ministerstva osvity i nauky Ukrainy vid 08.11.2021 r. № 1197. URL: <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2021/11/09/222-Medytsyna.mahistr.09.11.pdf>.



УДК: 616.12-07:577.3]:378.147

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

Актуальні питання біофізики серця при опануванні студентами тем з кардіології

Оксана Полянська

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

Ігор Полянський

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

Ольга Гулага

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

Інна Москалюк

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

Андрій Спіжавка

@: spizhavka.andrii.med@bsmu.edu.ua

Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна

Ключові слова:

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

Анотація

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

Цитування:

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

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



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

Oksana Polianska

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

Igor Polianskyi

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

Olha Hulaha

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

Inna Moskaliuk

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

Andrii Spizhavka

@: spizhavka.andrii.med@bsmu.edu.ua

Bukovinian State Medical University, Chernivtsi, Ukraine

Keywords:

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

Abstract

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

Зміст

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

Перелік скорочень:

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

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

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

Вступ

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

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

хисту людини від великих навантажень.

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

Основна частина

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

встановлюється на рівні передсердя [6].

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

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

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

Для діагностики стану серцевої ді-

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

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

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

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

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

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

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

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

На теперішній час також надзвичай-

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

Заклучна частина

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

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

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

Висновки

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

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

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

Список використаних джерел

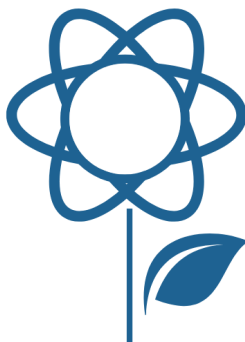
1. Терещенко МФ, Тимчик ГС, Яковенко ІО. Біофізика: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка»; 2019. 444 с.
2. Іванова ОІ, Філоненко НІО, Хорольський ОО, Гнатюк ІО. Біофізика ультразвуку в курсі «Медична та біологічна фізика». Актуальні питання природничо-математичної освіти :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

References

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

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

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



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

Зміст

Вимоги до подання	58
Вимоги до оформлення статей	59
Мова статей	59
Тематичні напрямки	59
Види публікацій	59
Обсяг статті	59
Технічні параметри	60
Порядок розміщення матеріалу	60
Список використаних джерел	61
Положення про авторські права	61
Положення про конфіденційність	61
Процес рецензування	62

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 ПРИЗВИЩЕ, 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)
- рекомендації для розвитку наукового напрямку та/або практичної медицини

Керівництво для авторів
Author Guidelines

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.
- Самоцититування 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

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 укладати 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

- 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.