



КАРАЗІНСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КЛАСИКА, ЩО ВИПЕРЕДЖАЄ ЧАС

ТОМ XXXIII
6(57) | 2025

ISSN 2313-6693 (Print)
ISSN 2313-2396 (Online)

УДК 61

Унікальний префікс DOI
видавництва журналу:
10.26565

Затверджено до друку
Вченою радою
Харківського національного
університету
імені В.Н. Каразіна Міністерства
освіти і науки України
(протокол № 30 від 24.11.2025 р.)

Ідентифікатор медіа
у Реєстрі суб'єктів
у сфері медіа: R30-04449
(Рішення № 1538 від 09.05.2024 р.
Національної ради України
з питань телебачення
і радіомовлення.
Протокол № 15)

Свідоцтво про внесення
суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру
видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів
видавничої продукції
серія ДК № 3367 від 13.01.2009 р.

Адреса редакції:
майдан Свободи, буд. 4,
м. Харків, 61022, Україна
тел./факс: +38 (057) 702-04-55
e-mail: ukrmesci@gmail.com,
journal.medicine@karazin.ua

Науково-практичне видання

ВІСНИК

**Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна.
Серія МЕДИЦИНА**

<https://ukrmesci.com/index.php/visnyk>

Засновник і видавець Харківський національний університет
імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України
Засновано 1992 року
Періодичність виходу – 6 разів на рік



**МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ**

Входить до Переліку наукових друкованих
фахових видань України (категорія «А»),
у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт
в галузі знань «1 – Охорона здоров'я та соціальне
забезпечення» (Додаток 7 до наказу від 08.07.2025 № 986)
за спеціальностями: «12 – Медицина», «16 – Технології медичної
діагностики та лікування (за спеціалізаціями)»



Робота редакційної колегії орієнтована на норми та принципи
International Committee of Medical Journal Editors

Контент доступний за ліцензією Creative Commons «Attribution» 4.0

Research and practice edition

**The Journal of V.N. Karazin
Kharkiv National University.
Series MEDICINE**

<https://ukrmedsci.com/index.php/visnyk>

Founder and publisher V.N. Karazin Kharkiv National University
of the Ministry of Education and Science of Ukraine
Established in 1992
Published 6 times a year



Listed in the scientific printed
professional editions of Ukraine (category A)
which can publish these results in «I – Healthcare and
social security» field (Annex 7 to Order № 986 of Ministry
of Education and Science of Ukraine, 08.07.2025) on the specialties:
«I2 – Medicine», «I6 – Medical diagnostic and treatment technology»



With a focus of the editorial board on the standards and guidelines of
International Committee of Medical Journal Editors

The content is available under license from Creative Commons "Attribution" 4.0



KARAZIN UNIVERSITY
CLASSICS AHEAD OF TIME

VOLUME XXXIII
6(57) | 2025

ISSN 2313-6693 (Print)
ISSN 2313-2396 (Online)

UDC 61

DOI unique prefix of the
Journal publishing house:
10.26565

Approved for publication
by the decision
of the Academic Council
of V.N. Karazin
Kharkiv National University
of the Ministry of Education
and Science of Ukraine
(record № 30 of 24/11/2025)

Media identifier
in the Register of the field
of Media Entities: R30-04449
(Decision № 1538 dated 9/05/2024
of the National Council
of Television and
Radio Broadcasting of Ukraine,
Protocol № 15)

Certificate of registration
of publishing industry entity
in the State Register of Publishers,
Manufacturers and Distributors
of Printed Products
DK № 3367
Issued 13/01/2009

Editorial office address:
4 Svobody Sq.,
Kharkiv, 61022, Ukraine
ph/fax: +38 (057) 702-04-55
e-mail: ukrmedsci@gmail.com
journal.medicine@karazin.ua,

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ EDITORIAL BOARD

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР

Лядова Тетяна Іванівна – доктор медичних наук, професор, декан медичного факультету, професор кафедри інфекційних хвороб та клінічної імунології медичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України (м. Харків, Україна)

CHIEF EDITOR

Liadova Tetiana Ivanivna – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Dean of the School of Medicine, Professor of the Department of Infectious Diseases and Clinical Immunology of V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

ЗАСТУПНИКИ ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА

Цівенко Олексій Іванович – доктор медичних наук, професор, професор кафедри хірургічних хвороб медичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України (м. Харків, Україна)

DEPUTY EDITORS

Tsivenko Olexsij Ivanovych – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Surgical Diseases of the School of Medicine of V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Белозьоров Ігор Вікторович – доктор медичних наук, професор, професор кафедри онкології, радіології та радіаційної медицини медичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України (м. Харків, Україна)

Belozorov Igor Viktorovych – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Oncology, Radiology and Radiation Medicine of the School of Medicine of V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

ВИКОНАВЧИЙ РЕДАКТОР

Матвєєнко Марія Сергіївна – доктор філософії в галузі охорони здоров'я за спеціальністю «Медицина», доцент, завідувачка кафедри загальної хірургії, анестезіології та паліативної медицини медичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України (м. Харків, Україна)

EXECUTIVE EDITOR

Matvieienko Mariia Serhiivna – MD, PhD, Associate Professor, Head of the Department of General Surgery, Anesthesiology and Palliative Medicine of the School of Medicine of V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

НАУКОВІ РЕДАКТОРИ

Потейко Петро Іванович – кандидат медичних наук, доцент, виконуючий обов'язки завідувача кафедри внутрішніх хвороб і сімейної медицини Навчально-наукового медичного інституту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України (м. Харків, Україна)

SCIENCE EDITORS

Poteiko Petro Ivanovych – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Department of Internal Medicine and Family Medicine, Educational and Research Medical Institute of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Тихонова Тетяна Михайлівна – доктор медичних наук, професор, завідувачка кафедри внутрішньої медицини медичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України (м. Харків, Україна)

Tykhonova Tetiana Mykhaylivna – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Internal Medicine of the School of Medicine of V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Авдосьєв Юрій Володимирович – доктор медичних наук, професор, завідувач рентгенохірургічного відділення Державної установи «Інститут загальної та невідкладної хірургії ім. В.Т. Зайцева Національної академії медичних наук України» (м. Харків, Україна)

Альперт Джозеф – доктор медичних наук, професор медицини, професор клінічних трансляційних наук Аризонського університету (м. Темпе, Фенікс, Сполучені Штати Америки)

Вольфганг Арнольд – доктор медичних наук, професор, Університет Віттен Хердеке (м. Віттен, Німеччина)

Горшунська Мар'яна Юрївна – доктор медичних наук, професор, професор кафедри внутрішньої медицини медичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України (м. Харків, Україна)

Джафферані Мохаммад – доктор медичних наук, професор кафедри психіатрії та соціальних наук, Центральний Мічиганський університет (м. Мічиган, Сполучені Штати Америки)

Зупанець Ігор Альбертович – доктор медичних наук, професор, професор кафедри клінічної фармакології та клінічної фармації Національного фармацевтичного університету Міністерства охорони здоров'я України (м. Харків, Україна)

Кот Юрій Григорович – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри біохімії біологічного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України (м. Харків, Україна)

Ксав'єр Пастор Дюран – доктор медичних наук, професор, професор хірургії та медично-хірургічних спеціальностей. Медична інформатика. Клінічна лікарня Університету Барселони (м. Барселона, Іспанія)

Купновицька Ірина Григорівна – доктор медичних наук, професор, завідувачка кафедри клінічної фармакології та клінічної фармації Івано-Франківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України (м. Івано-Франківськ, Україна)

Лінський Ігор Володимирович – доктор медичних наук, професор, директор Інституту, завідувач відділу ургентної психіатрії та наркології Державної установи «Інститут неврології, психіатрії та наркології Національної академії медичних наук України» (м. Харків, Україна)

Мартиненко Олександр Віталійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри гігієни та соціальної медицини медичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України (м. Харків, Україна)

Мищенко Тамара Сергіївна – доктор медичних наук, професор, завідувачка кафедри неврології, психіатрії, наркології та медичної психології медичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України (м. Харків, Україна)

Avdosyev Yuriy Volodymyrovych – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Interventional Radiology State Institution «V.T. Zaitsev Institute of General and Urgent Surgery of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», (Kharkiv, Ukraine)

Alpert Joseph Stephen – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Professor of Clinical Translational Sciences, University of Arizona College of Medicine (Tempe, Phoenix, United States of America)

Wolfgang Arnold – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Witten/Herdecke University (Witten, Germany)

Gorshunskaya Maryana Yuryivna – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Internal Medicine of the School of Medicine of V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Jafferany Mohammad – Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Psychiatry and Behavioral Sciences Central Michigan University College of Medicine (Michigan, United States of America)

Zupanets Igor Albertovych – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy of National University of Pharmacy (Kharkiv, Ukraine)

Kot Yuriy Hrihorovych – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Bio-chemistry of V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Xavier Pastor Duran – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Professor Departamento de Cirugía y Especialidades Médicoquirúrgicas Informática Médica. Hospital Clínic de Barcelona (Barcelona, Spain)

Kupnovytska Iryna Hryhorivna – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Clinical Pharmacology and Pharmacotherapy of Ivano-Frankivsk National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine (Ivano-Frankivsk, Ukraine)

Lynskiy Igor Volodymyrovych – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Director of the Institute, Head of the Department of Urgent Psychiatry and Narcology of State Institution «Institute of Neurology, Psychiatry and Narcology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» (Kharkiv, Ukraine)

Martynenko Oleksandr Vitaliiyovych – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Hygiene and Social Medicine of the School of Medicine of V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Mishchenko Tamara Serhiivna – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Neurology, Psychiatry, Narcology and Medical Psychology of the School of Medicine of V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Попов Микола Миколайович – доктор медичних наук, професор, професор кафедри інфекційних хвороб та клінічної імунології медичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України (м. Харків, Україна)

Проценко Олена Сергіївна – доктор медичних наук, професор, завідувачка кафедри загальної та клінічної патології медичного факультету Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України (м. Харків, Україна)

Раймонді Джанфранко – доктор медичних наук, професор, Римський університет Ла Сапієнца (м. Рим, Італія)

Ржепішевська Олена – доктор медичних наук, професор, науковий співробітник кафедри хімії, співробітник кафедри клінічної мікробіології Університету Умео, (м. Умео, Швеція)

Чиж Микола Олексійович – кандидат медичних наук, старший дослідник відділу експериментальної кріомедицини Інституту проблем кріобіології і кріомедицини Національної академії наук України (м. Харків, Україна)

Шалімова Анна Сергіївна – доктор медичних наук, професор, професор кафедри внутрішньої медицини Медичного університету Гданська (м. Гданськ, Польща)

Popov Mykola Mykolaiovych – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Infectious Diseases and Clinical Immunology of the School of Medicine of V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Protsenko Olena Serhiivna – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Head of the Department of General and Clinical Pathology of the School of Medicine of V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Raimondi Gianfranco – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Sapienza University of Rome (Rome, Italy)

Rzhepishavska Olena – Doctor of Medical Sciences, Professor, staff scientist at the Department of Chemistry, affiliated research fellow at the Department of Clinical Microbiology, Umeå University, Sweden (Umea, Sweden)

Chyzh Mykola Oleksiiovych – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher of the Experimental Cryomedicine Department of the Institute of Problems of Cryobiology and Cryomedicine of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Shalimova Anna Serhiivna – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Hypertension and Diabetology of Medical University of Gdansk, (Gdansk, Poland)

РЕДАКЦІЙНА РАДА EDITORIAL COUNCIL MEMBERS

Гладких Федір Володимирович – доктор філософії в галузі охорони здоров'я за спеціальністю «Медицина», старший науковий співробітник групи променевої патології і паліативної медицини Відділу радіології Державної установи «Інститут медичної радіології та онкології ім. С.П. Григор'єва Національної академії медичних наук України» (м. Харків, Україна)

Константиновська Ольга Сергіївна – кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри інфекційних хвороб та клінічної імунології Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України (м. Харків, Україна)

Целуйко Віра Йосипівна – доктор медичних наук, професор, завідувачка кафедри кардіології, лабораторної та функціональної діагностики Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України (м. Харків, Україна)

Яблчанський Андрій Миколайович – кандидат медичних наук, доцент, Науковий центр охорони здоров'я Університету Оклахоми (м. Норман, Оклахома, Сполучені Штати Америки)

Hladkykh Fedir Volodymyrovych – MD, PhD Senior Researcher of the Group of Radiation Pathology and Palliative Medicine at the Radiology Department of State Organization «Grigoriev Institute for Medical Radiology and Oncology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine» (Kharkiv, Ukraine)

Konstantynovska Olha Serhiivna – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor Department of Infectious Diseases and Clinical Immunology of the School of Medicine of V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Tseluyko Vira Yosypivna – Doctor of Medical Sciences, Full Professor, Head of Department of Cardiology, Laboratory and Functional Diagnostics of the School of Medicine of V.N. Karazin Kharkiv National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Kharkiv, Ukraine)

Yabluchanskiy Andriy Mykolaiovych – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, University of Oklahoma Health Science Center (Norman, Oklahoma, United States of America)

ЗМІСТ

CONTENTS

ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

ORIGINAL RESEARCH

- Коцар О.В., Кочнєва О.В., Ковальов М.М., Циганенко О.С.**
Етіологічна роль *Pseudomonas aeruginosa* в розвитку ранової інфекції та опікової хвороби
940
- Яковлева Л.М., Омельченко І.В., Целуйко В.Й.**
Чинники, що асоціюються з наявністю тромбу у вуську лівого передсердя (результати ретроспективного аналізу)
953
- Мищук В.Г., Мізюк Т.М., Мищук В.В., Венгрович О.З., Шаламай У.П.**
Вплив терапії з включенням препарату 5-аміносаліцилової кислоти та пробіотики на деякі механізми розвитку неускладненої дивертикулярної хвороби товстої кишки
964
- Овдій М.О., Кондратиук М.В., Зайцев В.О., Ляшенко В.П., Радченко А.В.**
Роль психоемоційних факторів у формуванні болю, інвалідизації та зниженні якості життя при неспецифічному хронічному болю у нижній ділянці спини: статевий аналіз
977
- Шило Н.Г., Целуйко В.Й.**
Чинники несприятливого прогнозу у хворих на тромбоемболію легеневої артерії на тлі раку
994
- Полковнікова К.В., Коноплицький В.С., Фоміна Л.В., Коробко Ю.Є.**
Лікування гемангіом у дітей шляхом лазерної коагуляції
1004
- Студент В.О., Гладких Ф.В., Лядова Т.І., Матвєєнко М.С.**
Роль NO-ергічної системи та білкового гомеостазу у формуванні нефропротективного ефекту безклітинних кріоконсервованих біологічних засобів на моделі кеторолак-індукованої нефропатії
1023
- Бондаренко А.К., Москаленко Р.А.**
Роль штучного інтелекту та цифрової патології в телемедичних рішеннях для патоморфологічної діагностики: бібліометричний аналіз
1042
- Павлюкович Н.Д., Павлюкович О.В.**
Сучасні уявлення про фіброз міокарда: комплексна оцінка за біохімічними, епігенетичними та візуалізаційними маркерами
1056
- Недельська С.М., Ярцева Д.О., Кряжев О.В., Самохін І.В., Мазур В.І., Кляцька Л.І., Лямцева О.В., Федосєєва О.С.**
Локальні набряки шкіри: причини і механізми розвитку
1084
- Плетенецька А.О., Бондарчук А.Г., Стрельченко А.М., Мостепанюк Л.О., Смаглюк О.В.**
Кримінально-правова та судово-експертна оцінка черепно-мозкової травми та зумовлених нею психічних порушень
1101
- Козлова Т.В., Чиж М.О., Лядова Т.І., Гладких Ф.В., Кошурба І.В.**
Кріоконсервовані клітини та тканинні екстракти у кардіопротекції: сучасний стан проблеми
1121
- Kotsar O.V., Kochnieva O.V., Kovalov M.M., Tsyganenko O.S.**
Etiological role of *Pseudomonas aeruginosa* in the development of wound and burn infections
- Yakovleva L.M., Omelchenko I.V., Tseluyko V.Y.**
Factors associated with left atrial appendage thrombus (results of a retrospective analysis)
- Mishchuk V.H., Miziuk T.M., Mishchuk V.V., Vengrovych O.Z., Shalamai U.P.**
The impact of 5-aminosalicylic acid and probiotic therapy on certain pathogenetic mechanisms of uncomplicated colonic diverticular disease
- Ovdii M.O., Kondratiuk M.V., Zaitsev V.O., Liashenko V.P., Radchenko A.V.**
The role of psycho-emotional factors in the development of pain, disability and reduced quality of life in non-specific chronic lower back pain: gender analysis
- Shylo N.H., Tseluyko V.Y.**
Factors of unfavorable prognosis in patients with pulmonary embolism associated with cancer
- Polkovnikova K.V., Konopliitskyi V.S., Fomina L.V., Korobko Yu.Ye.**
Treatment of hemangiomas in children by laser coagulation
- Student V.O., Hladkykh F.V., Liadova T.I., Matvieienko M.S.**
Role of the nitric oxide system and protein homeostasis in the nephroprotective effect of cell-free cryopreserved biological products in a model of ketorolac-induced nephropathy
- Bondarenko A.K., Moskalenko R.A.**
The role of artificial intelligence and digital pathology in telemedicine solutions for histopathological diagnosis: a bibliometric analysis
- Pavliukovych N.D., Pavliukovych O.V.**
Modern insights into myocardial fibrosis: a comprehensive assessment by biochemical, epigenetic and imaging biomarkers
- Nedelska S.M., Yartseva D.O., Kriazhev O.V., Samokhin I.V., Mazur V.I., Kliatska L.I., Liamtseva O.V., Fedosieieva O.S.**
Localized skin edema: etiologies and mechanisms of development
- Pletenetska A.O., Bondarchuk A.H., Strelchenko A.M., Mostepaniuk L.O., Smahliuk O.V.**
Criminal law and forensic assessment of traumatic brain injury and resulting mental disorders
- Kozlova T.V., Chyzh M.O., Liadova T.I., Hladkykh F.V., Koshurba I.V.**
Cryopreserved cells and tissue extracts in cardioprotection: current state of the problem

DOI: <https://doi.org/10.26565/2313-6693-2025-57-01>
УДК: 579.841.11:615.015.8:616-001.17-001.45-022.369



Етіологічна роль *Pseudomonas aeruginosa* в розвитку ранової інфекції та опікової хвороби

Коцар О.В., [ID](https://orcid.org/0000-0002-3797-1068) <https://orcid.org/0000-0002-3797-1068>, e-mail: ov.kotsar@knmu.edu.ua
Кочнєва О.В., [ID](https://orcid.org/0000-0002-1039-9313) <https://orcid.org/0000-0002-1039-9313>, e-mail: ov.kochnieva@knmu.edu.ua
Ковальов М.М., [ID](https://orcid.org/0009-0006-7798-5081) <https://orcid.org/0009-0006-7798-5081>, e-mail: mm.kovalov@knmu.edu.ua
Циганенко О.С., [ID](https://orcid.org/0000-0003-3086-8073) <https://orcid.org/0000-0003-3086-8073>, e-mail: os.tsyhanenko@knmu.edu.ua

Харківський національний медичний університет
Міністерства охорони здоров'я України, Харків, Україна

Etiological role of *Pseudomonas aeruginosa* in the development of wound and burn infections

Kotsar O.V., [ID](https://orcid.org/0000-0002-3797-1068) <https://orcid.org/0000-0002-3797-1068>, e-mail: ov.kotsar@knmu.edu.ua
Kochnieva O.V., [ID](https://orcid.org/0000-0002-1039-9313) <https://orcid.org/0000-0002-1039-9313>, e-mail: ov.kochnieva@knmu.edu.ua
Kovalov M.M., [ID](https://orcid.org/0009-0006-7798-5081) <https://orcid.org/0009-0006-7798-5081>, e-mail: mm.kovalov@knmu.edu.ua
Tsyhanenko O.S., [ID](https://orcid.org/0000-0003-3086-8073) <https://orcid.org/0000-0003-3086-8073>, e-mail: os.tsyhanenko@knmu.edu.ua

Kharkiv National Medical University
of the Ministry of Health of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Ключові слова:

Pseudomonas aeruginosa, антибіотико-резистентність, вибухові рани, опікова хвороба, ускладнення, внутрішньолікарняні інфекції.

Для кореспонденції:

Кочнєва Олена Володимирівна
Харківський національний медичний університет Міністерства охорони здоров'я України; кафедра мікробіології імунології та вірусології ім. проф. Д.П. Гриньова; просп. Науки, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;
e-mail: ov.kochnieva@knmu.edu.ua

© Коцар О.В., Кочнєва О.В., Ковальов М.М., Циганенко О.С., 2025

РЕЗЮМЕ

Актуальність. Сучасність дослідження зумовлена високою частотою розвитку ранових інфекцій у пацієнтів з вибуховими пораненнями та опіковими ураженнями, а також значною поширеністю грамнегативних бактерій, зокрема *Pseudomonas aeruginosa*.

Мета роботи – визначення складу мікробіому ранового вмісту від пацієнтів, які отримали вибухові поранення та опікову хворобу. Проведення аналізу рівнів антибіотикочутливості вибухонегативних клінічних ізолятів *P. aeruginosa* та встановлення частоти виділених штамів з мультирезистентністю та штамів з екстенсивною лікарською стійкістю.

Матеріали та методи. У дослідженні проаналізовано 32 госпітальні штами *P. aeruginosa*, ізольовані з ранового вмісту від пацієнтів із вибуховими пораненнями та опіковими ураженнями. Мікробіологічне дослідження проводили відповідно до стандартів European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing. Антибіотикорезистентність визначали диско-дифузійним методом. Результати оброблено статистично з використанням критерію χ^2 при рівні значущості $p < 0,05$.

Результати. Проведений аналіз показав, що кількість грамнегативних та грампозитивних штамів, виділених від пацієнтів з вибуховими ранами та опіковою хворобою була майже на одному рівні (53 % та 47 % відповідно). Питома вага штамів *P. aeruginosa* серед збудників ранової інфекції складала 11 %. Проведено дослідження *in vitro* щодо визначення чутливості внутрішньолікарняних штамів *P. aeruginosa*, ізольованих від пацієнтів з пораненнями, до антибактеріальних препаратів із антисиньогнійною активністю. Встановлено, що найвищу ефективність відносно досліджених штамів зберігають цефтазидим/авібактам, меропенем та амікацин, що визначає їх як препарати вибору для лікування інфекцій, спричинених цим збудником. Серед виділених штамів *P. aeruginosa* кількість полірезистентних складала 11,9 %, а 76,5 % виявилися ізолятами з розширеною резистентністю, тобто стійкими практично до всіх антибактеріальних препаратів, включаючи резервні.

Висновки. Отримані результати мають важливе значення для оптимізації емпіричної терапії та розробки клінічних протоколів лікування інфекцій, зумовлених *P. Aeruginosa*.

Для цитування:

Коцар О.В., Кочнєва О.В., Ковальов М.М., Циганенко О.С. Етіологічна роль *Pseudomonas aeruginosa* в розвитку ранової інфекції та опікової хвороби. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія Медицина*. 2025. Т. 33. № 6(57). С. 940-952. DOI: <https://doi.org/10.26565/2313-6693-2025-57-01>

Keywords:

Pseudomonas aeruginosa, antibiotic resistance, blast injuries, burn disease, complications, nosocomial infections.

For correspondence:

Kochniava Olena Volodymyrivna
Kharkiv National Medical University of the
Ministry of Health Ukraine; Department
of Microbiology, Immunology and Virology
named after Prof. D.P. Grynyov;
4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022;
e-mail: ov.kochniava@knu.edu.ua

© Kotsar O.V., Kochniava O.V.,
Kovalov M.M., Tsyganenko O.S., 2025

ABSTRACT

Background. The relevance of this research problem is due to the high frequency of wound infections in patients with blast injuries and burn lesions, as well as the significant prevalence of gram-negative bacteria, particularly *Pseudomonas aeruginosa*.

Purpose – to determine the composition of the wound microbiome in patients with blast injuries and burn disease. Analysis of antibiotic susceptibility levels of recovered clinical isolates of *P. aeruginosa* and determination of the frequency of isolation of multidrug-resistant and extensively drug-resistant strains.

Materials and Methods. The study analyzed 32 hospital strains of *P. aeruginosa* isolated from the wound exudate of patients with blast and burn injuries. Microbiological examination was performed according to European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing standards. Antibiotic resistance was determined using the disk diffusion method. The results were statistically processed using the χ^2 test at a significance level of $p < 0.05$.

Results. The analysis showed that the number of gram-negative and gram-positive strains isolated from patients with blast and burn injuries was almost the same (53 % and 47 %, respectively). The proportion of *P. aeruginosa* among the pathogens of wound infections was 11 %. An *in vitro* study was conducted to determine the susceptibility of hospital *P. aeruginosa* strains isolated from patients' wounds to antibacterial drugs with anti-pseudomonal activity. Ceftazidime/avibactam, meropenem, and amikacin demonstrated the highest efficacy against the tested strains, making them the drugs of choice for the treatment of infections caused by this pathogen. Among the isolated *P. aeruginosa* strains, 11.9 % were multidrug-resistant, and 76.5 % were extensively drug-resistant, i.e., resistant to almost all antibacterial drugs, including reserve agents.

Conclusions. The results obtained are important for optimizing empirical therapy and developing clinical protocols for the treatment of infections caused by *P. aeruginosa*.

For citation:

Kotsar OV, Kochniava OV, Kovalov MM, Tsyganenko OS. Etiological role of *Pseudomonas aeruginosa* in the development of wound and burn infections. *The Journal of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Medicine.* 2025;33(6(57)):940–952. DOI: <https://doi.org/10.26565/2313-6693-2025-57-01>

ВСТУП

Вибухові поранення та опікова хвороба є тяжкими станами, що супроводжуються значною деструкцією тканин, високим ризиком контамінації рани з подальшим розвитком ускладнень полімікробного генезу. Пацієнти з такими ушкодженнями часто потребують тривалого інтенсивного лікування та інвазивної підтримки (штучна вентиляція легень, використання катетерів), що підвищує ризик розвитку внутрішньолікарняних інфекцій і сепсису. Вибухові поранення поєднують механічне ушкодження тканин із масивним забрудненням ґрунтом, пилом, цементом, включаючи наявність інородних тіл. Такі умови сприяють розвитку полімікробної інфекції та викликають хронізацію процесу. Крім того, такі поранення супроводжуються опіковою хворобою. Це, в свою чергу, призводить до порушення бар'єрної функції шкіри, місцевої і системної імунодисфункції та зміни фармакокінетики антибактеріальних препаратів (збільшення об'єму розподілу препаратів і прискорення їх кліренсу). Усі ці фактори підвищують ризик інфікування та сприяють виникненню ускладнень [1, 2, 3].

В умовах повномасштабних бойових дій в медичних стаціонарах виникає проблема масового надходження постраждалих військових та цивільних осіб з вибуховими пораненнями та опіковими хворобами, що призводить до перевантаження медичних закладів і сприяє поширенню внутрішньолікарняних інфекцій (ВЛІ) та антибіотикорезистентних штамів [4, 5]. Особливе занепокоєння викликає *P. aeruginosa*,

INTRODUCTION

Blast and burn injuries are severe conditions characterized by extensive tissue destruction and a high risk of wound contamination, which may lead to complications of polymicrobial origin. Patients with such injuries often require prolonged intensive care and invasive procedures (such as mechanical ventilation and the use of catheters), which further increase the risk of nosocomial infections and sepsis. Explosive injuries combine mechanical tissue damage with massive contamination by soil, dust, and cement, including the presence of foreign bodies. These factors promote the development of polymicrobial infections and contribute to the chronic course of the wound process. In addition, such injuries are frequently accompanied by burn disease. This, in turn, leads to a violation of the barrier function of the skin, local and systemic immunodysfunction and a change in the pharmacokinetics of antibacterial drugs (increasing the volume of distribution of drugs and accelerating their clearance). Altogether, these factors heighten the risk of infection and the likelihood of complications [1, 2, 3].

Under conditions of full-scale hostilities, medical facilities face the challenge of mass admission of wounded military personnel and civilians with blast injuries and burn disease. This situation leads to the overload of healthcare institutions and contributes to the spread of healthcare-associated infections (HAIs) and antibiotic-resistant strains [4, 5]. Of particular concern is *P. aeruginosa*, which is one of the main causative agents of infectious

як основний збудник інфекційних ускладнень, що виникають на фоні вибухових поранень та опікової хвороби. За даними дослідників, збудник виділяється майже у 15 % випадків, пов'язаних з бойовими травмами. Цей патоген має широкий арсенал факторів вірулентності та високий потенціал для набуття множинної резистентності [6].

P. aeruginosa – аеробний грамнегативний мікроорганізм, відомий здатністю утворювати біоплівки, секретувати екзотоксини (ExoS, ExoU, ExoT) та проявляти різні механізми антибіотикорезистентності [7]. *P. aeruginosa* залишається одним з провідних збудників ранової та внутрішньолікарняної інфекції у тяжкопоранених та опікових хворих. Ускладнення, викликані даною бактерією, супроводжуються тяжким перебігом і створюють значний ризик летального наслідку [8].

Дослідження показують, що *P. aeruginosa* утворює стійкі біоплівкові структури на поверхні ран, які перешкоджають загоєнню, підтримують запальну реакцію та зумовлюють хронічний перебіг інфекції. В ході досліджень було виявлено, що основним чинником цього явища є продукція рамноліпідів штамми *P. aeruginosa*, які впливають на процес загоєння ран та викликають розвиток ускладнень [9].

Останні огляди та регіональні дослідження демонструють поширення стійких до антибіотиків штамів *P. aeruginosa*, які характеризуються множинною (MDR) або навіть екстремальною (XDR) резистентністю. MDR-штами стійкі до багатьох базових антибіотиків, тоді як XDR-штами стійкі практично до всіх антибактеріальних препаратів, включаючи резервні. Це стає причиною дуже обмеженого вибору для терапії [10].

За даними дослідників *P. aeruginosa* має декілька механізмів антибіотикорезистентності. Визначають генетичну стійкість до широкого спектра антибіотиків (включаючи аміноглікозиди, фторхінолони та β-лактами) та набути або адаптивну резистентність [11, 12].

Стійкість, викликана мутаціями у *P. aeruginosa* є складним явищем, що включає різні механізми, які забезпечують бактеріям здатність протистояти антимікробним препаратам. Ці мутації зачіпають ключові процеси життєдіяльності мікроорганізмів, що призводить до кількох механізмів стійкості [13]. Збільшення частоти мутацій у *P. aeruginosa* може призводити до посиленої продукції β-лактамаз – ферментів, які можуть розщеплювати β-лактамі антибіотики. Крім того, мутації можуть спричинити надекспресію ефлюксних насосів, таких як MexCD-OprJ, які активно видаляють антибіотики з бактеріальних клітин, знижуючи ефективність препаратів. Основний механізм, що зумовлює стійкість до β-лактамів, яка спричинена мутаціями, часто включає надпродукцію хромосомної цефалоспоринази, відомої як ampC. У процесі беруть участь численні регуляторні гени, які пов'язані із різними шляхами, відповідальними за рециркуляцію компонентів клітинної стінки [14].

Горизонтальний обмін генетичним матеріалом є важливим компонентом адаптивної стійкості *P. aeruginosa*, що дозволяє бактеріям швидко змінювати свій профіль резистентності до антибактеріальних препаратів. Ця особливість дозволяє мікроорганізмам коригувати свій профіль стійкості, що ускладнює класичну стратегію лікування. Генетичні

complications arising from blast injuries and burn injuries. According to researchers, this pathogen is isolated in almost 15 % of cases associated with combat-related injuries. It possesses a wide arsenal of virulence factors and a high capacity for acquiring multidrug resistance [6].

P. aeruginosa is an aerobic Gram-negative microorganism known for its ability to form biofilms, secrete exotoxins (ExoS, ExoU, ExoT), and exhibit various mechanisms of antibiotic resistance [7]. *P. aeruginosa* remains one of the leading pathogens of wound and nosocomial infections in severely wounded and burn patients. Complications caused by this bacterium are accompanied by a severe course and pose a significant risk of fatal outcome [8].

Studies have shown that *P. aeruginosa* forms stable biofilm structures on the surface of wounds that prevent healing, support the inflammatory response, and determine the chronic course of infection. During the studies, it was found that the main factor of this phenomenon is the production of rhamnolipids by *P. aeruginosa* strains which affect the wound healing process and cause the development of complications [9].

Recent reviews and regional studies demonstrate the spread of antibiotic-resistant *P. aeruginosa* strains characterized by multidrug (MDR) or even extensively drug-resistant (XDR) phenotypes. MDR strains are resistant to many first-line antibiotics, while XDR strains are resistant to almost all antibacterial agents, including reserve drugs. This results in a very limited range of therapeutic options [10].

According to researchers, *P. aeruginosa* possesses several mechanisms of antibiotic resistance. Both intrinsic genetic resistance to a broad spectrum of antibiotics (including aminoglycosides, fluoroquinolones, and β-lactams) and acquired or adaptive resistance have been identified [11, 12].

Resistance caused by mutations in *P. aeruginosa* is a complex phenomenon involving various mechanisms that provide bacteria with the ability to resist antimicrobial drugs. These mutations affect key life processes of microorganisms, leading to several mechanisms of resistance [13]. An increased mutation rate in *P. aeruginosa* can enhance the production of β-lactamases-enzymes capable of hydrolyzing β-lactam antibiotics. In addition, mutations may cause overexpression of efflux pumps, such as MexCD-OprJ, which actively expel antibiotics from bacterial cells, thereby reducing drug efficacy. The main mechanism underlying β-lactam resistance caused by mutations often involves overproduction of the chromosomal cephalosporinase known as AmpC. Numerous regulatory genes are involved in the process, which are associated with various pathways responsible for the recycling of cell wall components [14].

Horizontal exchange of genetic material is an important component of *P. aeruginosa*'s adaptive resistance, allowing bacteria to rapidly change their resistance profile to antibacterial drugs. This feature allows microorganisms to adjust their resistance profile, which complicates the classic treatment strategy. Genetic determinants of antimicrobial resistance may be contained on mobile elements such as plasmids, transposons, integrons, and prophages [15]. Resistance genes can be transferred

детермінанти антимікробної резистентності можуть міститися на мобільних елементах, таких як плазмідів, транспозони, інтегриони та профаги [15]. Гени резистентності можуть передаватися до *P. aeruginosa* шляхом горизонтального перенесення від різних донорів – як філогенетично споріднених, так і далеких видів бактерій.

Інтегриони, які є генетичними елементами, що спеціалізуються на вставці мобільних генних касет за допомогою сайт-специфічної рекомбінації, набули важливого значення у поширенні стійкості до антибіотиків у популяціях *P. aeruginosa*. Ці інтегриони є сховищами для широкого спектра детермінант стійкості до антибіотиків. Механізми горизонтального перенесення генів також включають трансформацію, трансдукцію та кон'югацію [16].

Зокрема, у *P. aeruginosa* виявлено різні гени метало- β -лактамаз (MBL), що кодують ферменти, здатні гідролізувати широкий спектр β -лактамних антибіотиків. Серед знайдених генів зустрічаються такі, як IMP (імпіпенемаза – фермент, який гідролізує карбапенеми та інші β -лактами), VIM (інтегрон-залежна метало- β -лактамаза, активна проти широкого спектра β -лактамів), SPM (метало- β -лактамаза, яка гідролізує карбапенеми), GIM (імпіпенемаза – гідролізує карбапенеми), NDM (метало- β -лактамаза – гідролізує майже всі β -лактами) та FIM (рідкісна метало- β -лактамаза, виявлена в Італії, активна проти карбапенемів). Такі штами поширені серед пацієнтів опікових, реанімаційних, хірургічних відділень майже у всьому світі (Африка, Європа, Азія, Близький Схід) [17]. Отже, взаємодія різних механізмів антибіотикорезистентності сприяє формуванню штамів з множинною лікарською стійкістю, що становить серйозну загрозу для системи охорони здоров'я.

Впродовж всього періоду бойових дій в Україні спостерігається збільшення частки грамнегативних нозокоміальних ізолятів серед тяжкопоранених хворих і висока частка антибіотикорезистентних штамів, що відображено в українських кумулятивних антибіограмах та звітах місцевих клінічних центрів [18]. Міжнародні установи (CDC, WHONET) постійно звертають увагу на потребу посиленої діагностики антибіотикорезистентних штамів та проведення заходів щодо профілактики та контролю інфекційних захворювань у регіонах конфлікту [19].

Таким чином, розуміння цих складних механізмів має важливе значення для розробки інноваційних методів лікування, які зможуть ефективно боротися з інфекціями, пов'язаними з *P. aeruginosa* та ускладненнями, які вони викликають.

Мета роботи – визначення складу мікробіому ранового вмісту від пацієнтів, які отримали вибухові поранення та опікову хворобу. Проведення аналізу рівнів антибіотикочутливості вилучених клінічних ізолятів та встановлення частоти виділення MDR та XDR-штамів *P. aeruginosa*, серед виділених збудників.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Під час проведення аналізу літературних джерел було розглянуто та систематизовано наукові публікації за період 2020–2025 рр. Наукові роботи знайдені

to *P. aeruginosa* by horizontal transfer from different – donors of both phylogenetically related and distant bacterial species.

Integrations, which are genetic elements specialized in inserting mobile gene cassettes via site-specific recombination, have gained importance in the spread of antibiotic resistance within *P. aeruginosa* populations. These integrons serve as reservoirs for a wide range of antibiotic resistance determinants. Mechanisms of horizontal gene transfer also include transformation, transduction, and conjugation [16].

In particular, various metallo- β -lactamase (MBL) genes have been identified in *P. aeruginosa*, which encode enzymes capable of hydrolyzing a broad spectrum of β -lactam antibiotics. Among the detected genes are IMP (imipenemase – an enzyme that hydrolyzes carbapenems and other β -lactams), VIM (an integron-encoded metallo- β -lactamase active against a wide range of β -lactams), SPM (a metallo- β -lactamase that hydrolyzes carbapenems), GIM (an imipenemase that hydrolyzes carbapenems), NDM (a metallo- β -lactamase that hydrolyzes nearly all β -lactams), and FIM (a rare metallo- β -lactamase first identified in Italy, active against carbapenems). Such strains are prevalent among patients in burn units, intensive care, and surgical departments worldwide (Africa, Europe, Asia, and the Middle East) [17].

Throughout the period of hostilities in Ukraine, an increase in the proportion of gram-negative nosocomial isolates has been observed among severely wounded patients, along with a high proportion of antibiotic-resistant strains, as reflected in Ukrainian cumulative antibiograms and reports from local clinical centers [18]. International institutions (CDC, WHONET) consistently emphasize the need for enhanced diagnostics of antibiotic-resistant strains and the implementation of measures for the prevention and control of infectious diseases in conflict regions [19].

Thus, understanding these complex mechanisms is important for developing innovative treatment methods that can effectively combat infections associated with *P. aeruginosa* and the complications it causes.

Objective – the aim of the study was to determine the composition of the wound microbiome in patients who sustained blast injuries and burn disease, to analyze the levels of antibiotic susceptibility of the isolated clinical strains, and to establish the frequency of detection of MDR and XDR *Pseudomonas aeruginosa* among the identified pathogens.

MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH

Understanding these complex mechanisms is essential to develop innovative therapies that can effectively combat infections associated with *P. aeruginosa* and the

в PubMed/PMC, Scopus, Web of Science, журнальних архівах, офіційних ресурсах ВООЗ, Центрів з контролю та профілактики захворювань (CDC, США) та Міністерства охорони здоров'я України (МОЗ України). При дослідженні матеріалів використані такі ключові слова: «blast injury / вибухові рани», «burns / опіки», «wound infection / ранова інфекція», «*Pseudomonas aeruginosa*», «nosocomial infection / HAI», «antimicrobial resistance». Також у роботу було включено системні огляди, проспективні/ретроспективні дослідження, настанови та місцеві звіти (зокрема вітчизняні) [20, 21].

У результаті мікробіологічного дослідження було ідентифіковано та досліджено 32 госпітальні штами *P. aeruginosa*, виділені з матеріалу від пацієнтів, госпіталізованих із вибуховими пораненнями та опіковою хворобою. Ізоляцію штамів проводили з ранового відокремлюваного пацієнтів. Робота виконувалась на базі закладу, який бере участь у медичній допомозі військовослужбовцям та цивільним пораненим, і охоплювало часовий проміжок з 2024 по 2025 рік. До основних критеріїв відбору належали: поранення пацієнта, наявність вибухової травми чи опікової хвороби, отриманих унаслідок бойових дій, а також результати мікробіологічного дослідження рани, які свідчили про наявність або підозру на інфекційний процес згідно з внутрішніми нормативами положеннями закладу.

Забір матеріалу здійснювали в умовах операційної або перев'язувальної після попередньої антисептичної обробки країв рани чи промивання ексудату фізіологічним розчином. Отриманий зразок відбирали стерильним тампоном, поміщали в стерильний цукровий бульйон і транспортували до лабораторії не пізніше ніж через дві години після забору. Мікробіологічні дослідження проводили згідно EUCAST (European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing) в результаті чого було ідентифіковано 32 штами *P. aeruginosa* [22]. Приготування суспензії мікроорганізмів із визначеною концентрацією мікробних клітин проводили за допомогою електронного приладу Denci-La-Meter (PLIVA-Lachema) за шкалою Mc Farland згідно з інструкцією до приладу.

Чутливість штамів до антибіотиків визначали диско-дифузійним методом (ДДМ) на середовищі Мюллера-Хінтона з використанням готових комерційних сертифікованих дисків (HiMedia, Індія) відповідно до чинних нормативних документів [22]. Штами *P. aeruginosa* класифікували як MDR або XDR відповідно до критеріїв ECDC/CDC залежно від кількості класів антимікробних засобів, до яких вони виявляли стійкість.

Отримані результати досліджень оброблено методом варіаційної статистики за допомогою програми MS Excel 2010 Biostat з розрахунком стандартної похибки частки (s_p). Різницю відносних показників оцінювали за критерієм χ^2 . Результати вважали вірогідними, якщо рівень значущості був 95 % ($p < 0,05$), що прийнято при оцінці результатів біологічних досліджень [23].

РЕЗУЛЬТАТИ

Для досягнення мети даної роботи обстеження проводилось серед поранених в перші 2 доби після госпіталізації. Більшість пацієнтів мали ознаки

complications they cause for 2020 to 2025 years, Scientific works have been found from PubMed/PMC, Scopus, Web of Science, journal archives, and official resources of the World Health Organization (WHO), the Centers for Disease Control and Prevention (CDC, USA), and the Ministry of Health of Ukraine. The following keywords were used in the search: «blast injury,» «burns,» «wound infection,» «*Pseudomonas aeruginosa*,» «nosocomial infection / HAI,» and «antimicrobial resistance.» The review also included systematic reviews, prospective and retrospective studies, clinical guidelines, and local (including national) reports [20, 21].

A total of 32 hospital isolates of *P. aeruginosa* obtained from wound specimens of patients hospitalized with blast injuries and burn disease were identified and studied. The isolates were obtained from wound exudates of patients treated at a medical facility providing care to military personnel and civilians injured in combat conditions during the period 2024–2025.

The main selection criteria included: injury to the patient, the presence of an explosive injury or burn disease obtained as a result of hostilities, as well as the results of a microbiological examination of the wound, which indicated the presence or suspicion of an infectious process in accordance with the internal regulations of the institution.

Material collection was carried out under operating or dressing conditions after preliminary antiseptic treatment of wound edges or washing of exudate with saline solution. The resulting sample was taken with a sterile swab, placed in sterile sugar broth and transported to the laboratory no later than two hours after collection. Microbiological investigations were performed according to EUCAST (European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing) guidelines [22]. As a result, 32 *P. aeruginosa* strains were identified.

Microbial suspensions with standardized cell concentrations were prepared using a Denci-La-Meter (PLIVA-Lachema) according to the McFarland scale, following the manufacturer's instructions. Antibiotic susceptibility of the isolates was determined by the disk diffusion method (DDM) on Mueller–Hinton agar using commercially available certified antibiotic disks (HiMedia, India) in accordance with current regulatory documents [22].

The *P. aeruginosa* strains were classified as MDR or XDR according to ECDC/CDC criteria, based on the number of antimicrobial classes to which they exhibited resistance.

The obtained results were analyzed using descriptive and variation statistics in MS Excel 2010 and Biostat software, with calculation of the standard error of proportion (s_p). The difference in relative measures was evaluated according to the χ^2 (chi-square) test were considered statistically significant at a confidence level of 95 % ($p < 0.05$), as commonly accepted in biological research [23].

RESULTS

To achieve the aim of this study, examinations were conducted among patients within the first 2 days after hospitalization. Most patients exhibited signs

гнійно-запальних процесів кінцівок та ознаки опікової хвороби.

Встановлено, що у 47 % випадків етіологічним фактором ранової інфекції були грампозитивні бактерії: з них 42,0 % – стафілококи, а 5 % – стрептококи. Грамнегативні бактерії у хворих зустрічалися в 53 % випадках. Серед них значну частку складали *K. pneumoniae* (13,0 %), *E. coli* (6,4 %), *Proteus spp.* (9,3 %) та *P. aeruginosa* (11 %). Питома вага інших бактерій (*Enterobacter spp.*, *Citrobacter freundii*, *Bacillus spp.*, *Acinetobacter spp.*) була значно меншою, їх кількість складала 3–4,5 % (рис. 1).

of purulent-inflammatory processes in the extremities as well as indications of burn disease.

It was found that in 47 % of cases, the etiological agents of wound infection were Gram-positive bacteria: among them, 42.0 % were *Staphylococcus spp.*, and 5 % were *Streptococcus spp.* Gram-negative bacteria were identified in 53 % of the patients. Among these, a significant proportion consisted of *Klebsiella pneumoniae* (13.0 %), *Escherichia coli* (6.4 %), *Proteus spp.* (9.3 %), and *Pseudomonas aeruginosa* (11 %). The prevalence of other bacteria (*Enterobacter spp.*, *Citrobacter freundii*, *Bacillus spp.*, *Acinetobacter spp.*) was considerably lower, ranging from 3 % to 4.5 % (Fig. 1).

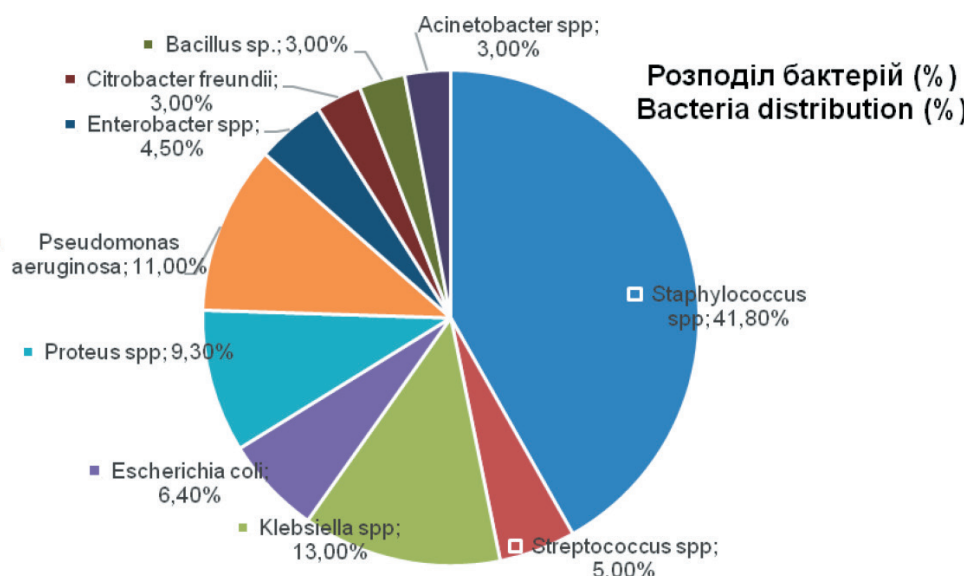


Рис.1. Розподіл бактерій (%), виділених від хворих з рановою інфекцією
Fig. 1. Distribution of bacteria (%) isolated from patients with wound infections

Аналізуючи мікробіоциноз ранового вмісту слід зазначити, що грамнегативна мікрофлора незначно переважала над грампозитивною. Серед ентеробактерій домінували такі опортуністичні патогени, як *K. pneumoniae* та *P. aeruginosa* (11–13 %). У меншій мірі були виділені *E. coli*, *Proteus spp.*, *Enterobacter spp.* та *Citrobacter freundii* (3–9 %). Серед грампозитивних представників провідна роль належала стафілококам, що підвищує ймовірність наявності MRSA-штамів, тому цей фактор слід враховувати при виборі емпіричної терапії.

Таким чином, етіологічна структура ранової інфекції представлена змішаною мікрофлорою з переважанням грамнегативних мікроорганізмів. Основними етіологічними чинниками залишаються *Staphylococcus spp.*, *K. pneumoniae* та *P. aeruginosa*.

Основними етіологічними чинниками залишаються *Staphylococcus spp.*, *Klebsiella pneumoniae* та *Pseudomonas aeruginosa*.

Антибіотикотерапія й надалі є базовим підходом у лікуванні синьогнійної інфекції, але стрімке зростання антибіотикорезистентності *P. aeruginosa* істотно обмежує терапевтичний вибір антибактеріальних засобів. Аналіз літературних даних і результати наших досліджень продемонстрували відсутність антибіотиків, до яких чутливість становила б 100 % [24, 25].

Analyzing the microbiocenosis of wound exudates, it should be noted that Gram-negative microflora slightly predominated over Gram-positive bacteria. Among the *Enterobacteriaceae*, opportunistic pathogens such as *K. pneumoniae* and *P. aeruginosa* (11–13 %) were dominant. To a lesser extent, *E. coli*, *Proteus spp.*, *Enterobacter spp.* and *Citrobacter freundii* (3–9 %) were isolated. Among Gram-positive bacteria, *Staphylococcus spp.* played a leading role, increasing the likelihood of the presence of MRSA strains; therefore, this factor should be considered when selecting empirical therapy.

Thus, the etiological structure of wound infections is represented by a mixed microbiota with a predominance of Gram-negative microorganisms. The main pathogens remain *Staphylococcus spp.*, *K. pneumoniae*, and *P. aeruginosa*.

Antibiotic therapy remains the primary treatment for *P. aeruginosa* infections. However, it should be emphasized that in the context of rapidly increasing antibiotic resistance, the arsenal of antibiotics effective against *P. aeruginosa* is rapidly decreasing. Both literature data and the results of our studying indicate the absence of antibiotics to which 100 % of the isolated strains were susceptible [24, 25]. The results of antibiotic susceptibility testing are presented in Table 1.

За результатами визначення антибіотикочутливості були отримані такі дані (табл. 1).

Таблиця 1. Показники антибіотикочутливості госпітальних штамів *P. aeruginosa* (n = 32)
Table 1. Antibiotic susceptibility of hospital *P. aeruginosa* strains (n = 32)

Антибіотики Antibiotic	Чутливі Susceptible		Помірно-чутливі Intermediate		Стойкі Resistant	
	n	% ± m	n	% ± m	n	% ± m
Цефтазидим / Ceftazidime			19	59,3 ± 6,1	13	40,7 ± 6,6
Цефтазидим/авібактам Ceftazidime/Avibactam	21	65,6 ± 6,6			11	34,3 ± 4,8
Цефепім / Cefepime			10	31,2 ± 6,1	22	68,7 ± 6,8
Імепенем / Imipenem			9	28,1 ± 6,6	23	71,8 ± 6,4
Меропенем / Meropenem	22	68,7 ± 6,8			10	31,2 ± 5,5
Азтреонам / Aztreonam	2	6,25 ± 4,3	16	50,0 ± 8,8	14	43,7 ± 5,5
Амікацин / Amikacin	20	62,5 ± 6,5			12	37,5 ± 5,5
Ципрофлоксацин / Ciprofloxacin			8	25,0 ± 6,2	24	75,0 ± 3,1
Левовфлоксацин / Levofloxacin			10	31,2 ± 6,1	22	68,7 ± 6,8

Найбільшою активністю по відношенню до досліджених штамів *P. aeruginosa* володіли цефтазидим/авібактам, меропенем та амікацин, частота чутливості до яких склала від 61,9 до 66,7 %. Помірна активність антибіотиків визначалась до піперациліну/тазобактаму, азтреонаму імепенему та цефепіму (від 29–60 % штамів *P. aeruginosa* були помірно-чутливими). Найменшу активність виявляли цефтазидим, цефепім, імепенем, ципрофлоксацин та левофлоксацин, чутливість до цих препаратів майже не визначалась.

Для отримання більш високої інформативності рівня резистентності до антибіотиків *P. aeruginosa* було поділено на MDR та XDR-штами.

За критеріями EUCAST серед усіх виділених штамів 11,9 % відносились до полірезистентних (MDR), а 76,5 % виявилися мікроорганізми з розширеною резистентністю (XDR) (рис. 2).

The highest activity against the studied *P. aeruginosa* strains was observed for ceftazidime/avibactam, meropenem, and amikacin, with susceptibility rates ranging from 61.9 % to 66.7 %. Moderate antibiotic activity was observed for piperacillin/tazobactam, aztreonam, imipenem, and cefepime, with 29–60 % of *P. aeruginosa* strains being intermediately susceptible. The lowest activity was observed for ceftazidime, cefepime, imipenem, ciprofloxacin, and levofloxacin, with almost no susceptibility detected.

To obtain a more informative assessment of *P. aeruginosa* antibiotic resistance, the strains were classified as MDR and XDR. According to EUCAST criteria, 11.9 % of all isolated strains were multidrug-resistant (MDR), while 76.5 % were extensively drug-resistant (XDR) microorganisms (Fig. 2).

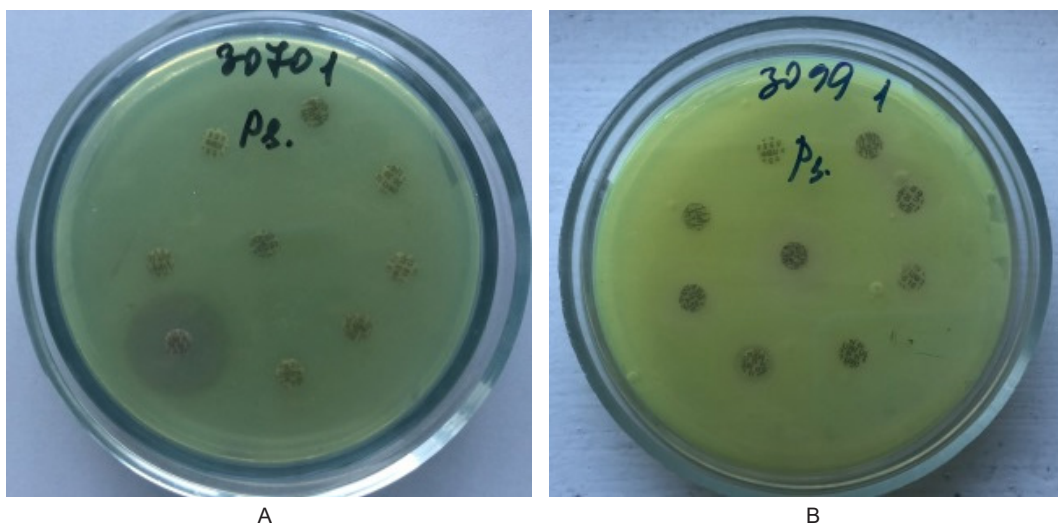


Рис. 2. Полірезистентні штами *P. aeruginosa* (А. – MDR, В. – XDR)
Fig. 2. Multidrug-resistant *P. aeruginosa* strains (A – MDR, B – XDR)

Отримані дані свідчать про високий рівень антибіотикорезистентності досліджуваних штамів *P. aeruginosa*, що значно ускладнює вибір ефективної емпіричної терапії. Результати вказують на критичну

The obtained data indicate a high level of antibiotic resistance among the studied *P. aeruginosa* strains, which significantly complicates the selection of effective empirical therapy. The results indicate the critical

важливість впровадження стандартизованих схем антибіотикотерапії та адаптації лікування під конкретного пацієнта.

Крім того, дані дослідження визначають важливість впровадження програм антибіотикостратегії, які передбачають раціональне призначення антибіотиків, регулярний моніторинг чутливості та контроль за використанням резервних препаратів. Подальше поширення резистентних штамів може призвести до обмеження терапевтичних можливостей і збільшення ризику розвитку ускладнень у пацієнтів.

ОБГОВОРЕННЯ

В умовах бойових дій збільшується частота полімікробних інфекцій та контамінації нетиповими субстратами (ґрунт, вода, продукти корозії). Евакуація, багатоступеневе лікування й зміни у догляді (перевантаженість закладів охорони здоров'я) сприяють поширенню ВЛІ та антибіотикорезистентності. Українські звіти 2022–2024 рр. документують високі рівні грамнегативної колонізації та зростання MDR-штамів у поранених [26].

Емпірична терапія тяжких інфекцій ранового ґенезу повинна базуватися на епідеміологічних даних та враховувати наявність MDR-штамів. При підозрі на інфекцію, викликану *P. Aeruginosa*, рекомендовані антипсевдомонадні β-лактами (піперацилін/тазобактам, цефепім, меропенем, або новіші комбінації, такі як цефтазидим/авібактам, цефтолозан/тазобактам) з урахуванням тяжкості та фармакокінетичних змін в опікових пацієнтів. При наявності XDR-штамів застосовують цефідерокол або комбінації ліків; колістин лишається останнім резервом, проте має нефротоксичність і обмежену ефективність проти біоплівки [27].

Оптимізація дозування антимікробних препаратів є критично важливою при лікуванні пацієнтів з великими опіками, оскільки у них спостерігається підвищений об'єм розподілу та прискорений кліренс ліків. Ці фізіологічні зміни можуть призводити до недостатньої концентрації антибіотиків у тканинах, що підвищує ризик неефективності терапії та розвитку резистентності [28].

У випадках тяжкої бактеріємії, при необхідності застосування інтенсивної терапії, використовується комбінована антибіотикотерапія, наприклад, може бути доцільним поєднання аміноглікозидів з β-лактамами. Такі комбінації забезпечують синергічний ефект, що підвищує їх бактерицидну активність та знижує ймовірність розвитку резистентності [29].

Враховуючи ці аспекти, важливо проводити моніторинг фармакокінетики у пацієнтів з опіками та коригувати дозування препаратів відповідно до їх індивідуальних потреб. Це дозволяє досягти оптимальних терапевтичних концентрацій та забезпечити ефективне лікування інфекцій.

Застосування місцевих методів лікування, таких як антисептики, перев'язувальні матеріали зі сріблом та терапія із використанням негативного тиску (NPWT), сприяє зниженню концентрації бактерій у рані. У клінічних дослідженнях зростає інтерес до фаготерапії, антимікробних пептидів, наночасток, ліпосом та біополімерів як доповнення до системної терапії [30]. Але на сьогодні поки що недостатньо

importance of implementing standardized antibiotic therapy regimens and adapting treatment to a specific patient.

Moreover, the study highlights the importance of implementing antibiotic stewardship programs, which involve rational prescribing of antibiotics, regular monitoring of susceptibility, and careful control of the use of reserve drugs. Further accumulation of resistant strains may lead to limited therapeutic options and an increased risk of complications in patients.

DISCUSSION

In conditions of armed conflict, the frequency of polymicrobial infections and contamination with atypical substrates (soil, water, corrosion products) increases. Evacuation, multi-stage treatment, and changes in patient care (overcrowding in healthcare facilities) contribute to the spread of nosocomial infections and antibiotic resistance. Ukrainian reports from 2022–2024 document high levels of Gram-negative colonization and an increase in MDR strains among injured patients [26].

Empirical therapy for severe wound infections should be based on epidemiological data and take into account the presence of MDR strains. In cases of suspected *P. aeruginosa* infection, anti-pseudomonal β-lactams (piperacillin/tazobactam, cefepime, meropenem, or newer combinations such as ceftazidime/avibactam or ceftolozane/tazobactam) are recommended, considering the severity of infection and pharmacokinetic changes in burn patients. For XDR strains, ceftiderocol or combination therapy may be used; colistin remains a last-resort option but is nephrotoxic and has limited efficacy against biofilms [27].

Optimizing antimicrobial dosing is critically important in patients with extensive burns, as they exhibit increased volume of distribution and accelerated drug clearance. These physiological changes may result in subtherapeutic antibiotic tissue concentrations, increasing the risk of treatment failure and resistance development [28].

In cases of severe bacteremia requiring intensive therapy, combination antibiotic therapy is often used, for example, the combination of aminoglycosides with β-lactams. Such combinations provide a synergistic effect, enhancing bactericidal activity and reducing the likelihood of resistance development [29].

Given these considerations, it is important to monitor pharmacokinetics in burn patients and adjust drug dosages according to individual needs. This allows achieving optimal therapeutic concentrations and effective infection management.

The use of local treatment methods, such as antiseptics, silver-containing dressings, and negative pressure wound therapy (NPWT), helps reduce bacterial load in wounds. There is increasing interest in phage therapy, antimicrobial peptides, nanoparticles, liposomes, and biopolymers as adjuncts to systemic therapy [30]. However, to date, there is insufficient evidence for widespread clinical implementation of these approaches.

Analysis of the data obtained in this study demonstrates that *P. aeruginosa* strains isolated from patients with blast injuries and burn disease were susceptible

проведених результатів досліджень для ширшого впровадження цих компонентів у клінічну практику.

Аналіз показників, які були визначені в даній науковій роботі демонструють, що виділені штами *P. aeruginosa* від пацієнтів з вибуховими пораненнями та опіковою хворобою мали чутливість до цефтазидиму/авіабактаму, меропенему та амікацину, частота чутливості до цих антибіотиків склала від 61,9 % до 66,7 %. Отримані дані узгоджуються з рекомендованими настановами та можуть бути використанні як емпірична терапія в клінічній практиці.

У коротко- та середньостроковій перспективі проблема антибіотикорезистентності у пацієнтів з опіками й вибуховими пораненнями залишатиметься актуальною. Необхідно впроваджувати мультицентрові дослідження епідеміології та результати визначення антибіограм. Проводити оцінку ефективності нових антисептиків, бактеріофагів і антибіотиків проти антибіотикорезистентних штамів *P. aeruginosa*. Стандартизувати протоколи інфекційного контролю у кризових умовах, залучати інвестиції в наукові дослідження та лабораторну інфраструктуру.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження показало, що при ранових інфекціях кількість грамнегативних і грампозитивних штамів була практично однаковою (53 % і 47 % відповідно). Відомо, що грамнегативні мікроорганізми частіше асоціюються з тяжкими інфекційними ускладненнями та характеризуються вищою стійкістю до антибактеріальних препаратів порівняно з грампозитивними бактеріями. Ранова інфекція, спричинена грамнегативною мікрофлорою, нерідко потребує лікування у відділенні інтенсивної терапії, і такі пацієнти мають підвищений ризик розвитку ускладнень і летальних наслідків.

Питома вага штамів *P. aeruginosa* серед збудників ранової інфекції складала 11 %.

Результати дослідження антибіотикорезистентності свідчать про високу варіабельність чутливості штамів *P. aeruginosa* до різних антибіотиків. Найбільш ефективними препаратами залишаються цефтазидим/авіабактам, меропенем та амікацин, що робить їх препаратами вибору для лікування інфекцій, спричинених цим збудником.

Препарати з помірною активністю, такі як піперацилін/тазобактам, азтреонам, імепенем та цефепім, можуть використовуватись за наявності чутливих штамів, проте потребують контролю терапевтичного ефекту.

Низька ефективність цефтазидиму, цефепіму, імепенему, ципрофлоксацину та левофлоксацину підкреслює необхідність регулярного моніторингу антибіотикочутливості та дотримання принципів раціональної антибіотикотерапії для запобігання поширенню резистентних штамів *P. aeruginosa*.

Встановлено, що серед виділених штамів *P. Aeruginosa*, кількість полірезистентних (MDR) складала 11,9 %, а 76,5 % виявилися мікроорганізмами з розширеною резистентністю (XDR) тобто стійкими практично до всіх антибактеріальних препаратів, включаючи резервні.

to ceftazidime/avibactam, meropenem, and amikacin, with susceptibility rates ranging from 61.9 % to 66.7 %. These findings are consistent with recommended guidelines and may be used as empirical therapy in clinical practice.

In the short- and medium-term perspective, antibiotic resistance in patients with burns and blast injuries will remain a significant challenge. Implementation of multicenter epidemiological studies and cumulative antibiogram analysis is necessary. The evaluation of new antiseptics, bacteriophages, and antibiotics against resistant *P. aeruginosa* strains should be pursued. Infection control protocols should be standardized in crisis conditions, and investment in research and laboratory infrastructure is essential.

CONCLUSIONS

The study showed that in wound infections, the proportions of Gram-negative and Gram-positive strains were approximately equal (53 % and 47 %, respectively). Gram-negative microorganisms are more often associated with severe infectious complications and exhibit higher resistance to antibacterial agents compared to Gram-positive bacteria. Wound infections caused by Gram-negative flora often require intensive care, with an increased risk of complications and mortality.

The prevalence of *P. aeruginosa* among wound infection pathogens was 11 %.

Antibiotic resistance results indicate high variability in *P. aeruginosa* susceptibility to different antibiotics. The most effective agents remain ceftazidime/avibactam, meropenem, and amikacin, making them drugs of choice for infections caused by this pathogen.

Antibiotics with moderate activity, such as piperacillin/tazobactam, aztreonam, imipenem, and cefepime, may be used for susceptible strains but require monitoring of therapeutic efficacy.

The low efficacy of ceftazidime, cefepime, imipenem, ciprofloxacin, and levofloxacin emphasizes the need for regular monitoring of antibiotic susceptibility and adherence to rational antibiotic therapy principles to prevent the spread of resistant *P. aeruginosa* strains.

Among the isolated *P. aeruginosa* strains, 11.9 % were multidrug-resistant (MDR), and 76.5 % were extensively drug-resistant (XDR), i.e., resistant to nearly all antibacterial agents, including reserve drugs.

These results are important for optimizing empirical therapy and developing clinical treatment protocols for infections caused by this pathogen.

The need for regular regional monitoring of antibiotic sensitivity, especially at the level of individual medical institutions, is due to the need to develop effective local treatment protocols.

The rapid increase in the level of antibiotic resistance highlights the need for a personalized

Отримані результати мають важливе значення для оптимізації емпіричної терапії та розробки клінічних протоколів лікування інфекцій, зумовлених цим патогеном.

Необхідність регулярного регіонального моніторингу антибіотикочутливості, особливо на рівні окремих медичних установ, зумовлена потребою в розробці ефективних локальних протоколів лікування.

Стрімке зростання рівня антибіотикорезистентності підкреслює необхідність персоніфікованого підходу до терапії та обов'язкового визначення чутливості збудників у кожному клінічному випадку. Особливого значення це набуває при лікуванні пацієнтів із бойовими та рановими ураженнями. Встановлення антибіотикочутливості мікроорганізмів у таких умовах сприяє підвищенню ефективності терапії та зниженню ризику рецидивів і ускладнень.

approach to therapy and mandatory determination of the susceptibility of pathogens in each clinical case. This becomes especially important in the treatment of patients with combat and wound lesions. Establishing antibiotic sensitivity of microorganisms in such conditions contributes to increasing the effectiveness of therapy and reducing the risk of relapses and complications.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Roy S., Mukherjee P., Kundu S., Majumder D., Raychaudhuri V., Choudhury L. Microbial infections in burn patients. *Acute and Critical Care*. 2024. Vol. 39, № 2. P. 214–225. DOI: <https://doi.org/10.4266/acc.2023.01571>
2. Sanjar F., Millan C.P., Leung K.P. Phylogenetic evaluation and genotypic identification of burn-related *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from post-burn human infections during hospitalization. *Pathogens and Disease*. 2024. Vol. 82, ftae021. DOI: <https://doi.org/10.1093/femspd/ftae021>
3. Cavallo I., Sivori F., Mastrofrancesco A., Abril E., Pontone M., Di Domenico E.G., et al. Bacterial biofilm in chronic wounds and possible therapeutic approaches. *Biology (Basel)*. 2024. Vol. 13, № 2. P. 109. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology13020109>
4. Белей Н.А., Лоскутов О.А., Строкань А.М., Ізмайлова О.Б. Еволюція мікробіологічного пейзажу ранових інфекцій у військово-службовців під час повномасштабного вторгнення росії: ретроспективне когортне дослідження (2022–2024 рр.). *Медицина невідкладних станів*. 2024. Т. 20, № 7. С. 615–621. DOI: <https://doi.org/10.22141/2224-0586.20.7.2024.1767>
5. Лаврик Г.С., Тимчук І.В., Руминська Т.М., Павлій С.Й., Герич Г.І., Корнійчук О.П. [та ін.]. Інфікування клебсієлами та псевдомонадами міно-вибухових ран: частота виділення їх на третьому етапі евакуації; спектр їхньої резистентності; чутливість до протимікробних лікарських засобів; загальні правила військово-медичної допомоги. *Львівський клінічний вісник*. 2023. Т. 3–4. № 43–44. С. 29–36. DOI: <https://doi.org/10.25040/lkv2023.03-04.029>
6. Kovalchuk V., Kondratiuk V., McGann P., Jones B.T., Fomina N., Nazarchuk O., et al. Temporal evolution of bacterial species and their antimicrobial resistance characteristics in wound infections of war-related injuries in Ukraine from 2014 to 2023. *Journal of Hospital Infection*. 2024. Vol. 152. P. 99–104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2024.06.011>
7. Wood S.J., Kuzel T.M., Shafikhani S.H. *Pseudomonas aeruginosa*: infections, animal modeling, and therapeutic strategies. *Cells*. 2023. Vol. 12, № 1. P. 199. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells12010199>
8. Greenhalgh D.G., Palmieri T.L., Klein M.B. *Diagnosis and treatment of infections in the burn patient*. *European Burn Journal*. 2024. Vol. 5, № 3. P. 296–308. DOI: <https://doi.org/10.3390/ejb5030028>
9. Weaver A.A., Parmar D., Junker E.A., Sweedler J.V., Shrout J.D. Differential spreading of rhamnolipid congeners from *Pseudomonas aeruginosa*. *ACS Applied Bio Materials*. 2023. Vol. 6, № 11. P. 4914–4921. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsabm.3c00641>
10. Pei Y., Hamar P., Pei D.S. Deciphering multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa*: mechanistic insights and environmental risks. *Toxics (Basel)*. 2025. Vol. 13, № 4. P. 303. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics13040303>
11. Abdi F.A., Motumma A.N., Kalayu A.A., Abegaz W.E. Prevalence and antimicrobial-resistant patterns of *Pseudomonas aeruginosa* among burn patients attending Yekatit 12 Hospital Medical College, Addis Ababa, Ethiopia. *PLoS One*. 2024. Vol. 19, № 3. P. e0289586. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289586>
12. Tamma P.D., Heil E.L., Justo J.A., Mathers A.J., Satlin M.J., Bonomo R.A. Infectious diseases society of America 2024 guidance on the treatment of antimicrobial-resistant gram-negative infections. *Clinical Infectious Diseases*. 2024. P. ciae403. DOI: <https://doi.org/10.1093/cid/ciae403>

REFERENCES

1. Roy S., Mukherjee P., Kundu S., Majumder D., Raychaudhuri V., Choudhury L. Microbial infections in burn patients. *Acute and Critical Care*. 2024;39(2):214–25. DOI: <https://doi.org/10.4266/acc.2023.01571>
2. Sanjar F., Millan CP, Leung KP. Phylogenetic evaluation and genotypic identification of burn-related *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from post-burn human infections during hospitalization. *Pathogens and Disease*. 2024;82:ftae021. DOI: <https://doi.org/10.1093/femspd/ftae021>
3. Cavallo I, Sivori F, Mastrofrancesco A, Abril E, Pontone M, Di Domenico EG, et al. Bacterial biofilm in chronic wounds and possible therapeutic approaches. *Biology (Basel)*. 2024;13(2):109. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology13020109>
4. Beley N, Loskutov O, Strokana A, Izmaylova O. Evolution of the microbiota of wound infections in military personnel during the full-scale Russian invasion: a retrospective cohort study (2022–2024). *Emergency Medicine*. 2024;20(7):615–21. (In Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.22141/2224-0586.20.7.2024.1767>
5. Lavryk G, Tymchuk I, Rumynska T, Pavliy S, Herych G, Korniychuk O, et al. Infection with *Klebsiella* and *Pseudomonas* in mine-blast wounds: frequency of their isolation at the third stage of evacuation; spectrum of their resistance; sensitivity to antimicrobial drugs; general rules of military medical care. *Lviv Clinical Bulletin*. 2023;(3–4(43–44)):29–36. (In Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.25040/lkv2023.03-04.029>
6. Kovalchuk V, Kondratiuk V, McGann P, Jones BT, Fomina N, Nazarchuk O, et al. Temporal evolution of bacterial species and their antimicrobial resistance characteristics in wound infections of war-related injuries in Ukraine from 2014 to 2023. *Journal of Hospital Infection*. 2024;152:99–104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2024.06.011>
7. Wood SJ, Kuzel TM, Shafikhani SH. *Pseudomonas aeruginosa*: infections, animal modeling, and therapeutic strategies. *Cells*. 2023;12(1):199. DOI: <https://doi.org/10.3390/cells12010199>
8. Greenhalgh DG, Palmieri TL, Klein MB. *Diagnosis and treatment of infections in the burn patient*. *European Burn Journal*. 2024;5(3):296–308. DOI: <https://doi.org/10.3390/ejb5030028>
9. Weaver AA, Parmar D, Junker EA, Sweedler JV, Shrout JD. Differential spreading of rhamnolipid congeners from *Pseudomonas aeruginosa*. *ACS Applied Bio Materials*. 2023;6(11):4914–21. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsabm.3c00641>
10. Pei Y, Hamar P, Pei DS. Deciphering multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa*: mechanistic insights and environmental risks. *Toxics (Basel)*. 2025;13(4):303. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics13040303>
11. Abdi FA, Motumma AN, Kalayu AA, Abegaz WE. Prevalence and antimicrobial-resistant patterns of *Pseudomonas aeruginosa* among burn patients attending Yekatit 12 Hospital Medical College, Addis Ababa, Ethiopia. *PLoS One*. 2024;19(3):e0289586. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289586>
12. Tamma PD, Heil EL, Justo JA, Mathers AJ, Satlin MJ, Bonomo RA. Infectious diseases society of America 2024 guidance on the treatment of antimicrobial-resistant gram-negative infections. *Clinical Infectious Diseases*. 2024:ciae403. DOI: <https://doi.org/10.1093/cid/ciae403>

13. Serwecińska L. Antimicrobials and antibiotic-resistant bacteria: a risk to the environment and to public health. *Water (Basel)*. 2020. Vol. 12, № 12. P. 3313. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12123313>
14. Lorusso A.B., Carrara J.A., Barroso C.D.N., Tuon F.F., Faoro H. Role of efflux pumps on antimicrobial resistance in *Pseudomonas aeruginosa*. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23, № 24. P. 15779. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms232415779>
15. Michaelis C., Grohmann E. Horizontal gene transfer of antibiotic resistance genes in biofilms. *Antibiotics (Basel)*. 2023. Vol. 12, № 2. P. 328. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics12020328>
16. Bhat B.A., Mir R.A., Qadri H., Dhiman R., Almilaibary A., Alkhanani M., et al. Integrons in the development of antimicrobial resistance: critical review and perspectives. *Frontiers in Microbiology*. 2023. Vol. 14. P. 1231938. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1231938>
17. Gomersall J., Mortimer K., Hassan D., Whitehead K.A., Slate A.J., Ryder S.F., et al. Ten-year analysis of bacterial colonisation and outcomes of major burn patients with a focus on *Pseudomonas aeruginosa*. *Microorganisms*. 2023. Vol. 12, № 1. P. 42. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms12010042>
18. Urena H., Aliieva N., Matolinets N., Hemsley C., Holcomb J.B., Samchuk O., et al. Cumulative antibiogram results of over 6800 diagnostic isolates from the First Lviv Territorial Medical Union, Ukraine. *The Lancet Infectious Diseases*. 2025. Vol. 25, № 4. P. e200–e201. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(25\)00116-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(25)00116-1)
19. Kuzin I., Matskov O., Bondar R., Lapin R., Vovk T., Howard A., et al. Notes from the field: responding to the wartime spread of antimicrobial-resistant organisms – Ukraine, 2022. *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2023. Vol. 72. P. 1333–1334. DOI: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm7249a5>
20. Elfadadny A., Ragab R.F., AlHarbi M., Badshah F., Ibáñez-Arancibia E., Farag A., et al. Antimicrobial resistance of *Pseudomonas aeruginosa*: navigating clinical impacts, current resistance trends, and innovations in breaking therapies. *Frontiers in Microbiology*. 2024. Vol. 15. P. 1374466. DOI: <http://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1374466>
21. Hemmati J., Azizi M., Asghari B., Arabestani M.R. Multidrug-resistant pathogens in burn wound, prevention, diagnosis, and therapeutic approaches (conventional antimicrobials and nanoparticles). *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology*. 2023. P. 8854311. DOI: <http://doi.org/10.1155/2023/8854311>
22. Документи Європейського комітету з тестування чутливості до антимікробних препаратів. URL: <https://surl.li/rtmfsp>
23. Rahman H.A., Noraidi A., Hj Khalid A., Mohamad-Adam A., Zahari N., Tuming N.E. Practical guide to calculate sample size for chi-square test in biomedical research. *BioMed Central Medical Research Methodology*. 2025. Vol. 25. P. 144. DOI: <http://doi.org/10.1186/s12874-025-02584-4>
24. La Rosa R., Molin S., Johansen H.K. *Pseudomonas aeruginosa*: persistence beyond antibiotic resistance. *Trends in Microbiology*. 2025. Vol. 33, № 10. P. 1076–1084. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.tim.2025.05.004>
25. Arslan E., Coşkun M.K., Çobanoğlu Ş., Aslan M.H., Yazıcı A. Effects of four antibiotics on *Pseudomonas aeruginosa* motility, biofilm formation, and biofilm-specific antibiotic resistance genes expression. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*. 2023. Vol. 106, № 3. P. 115931. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2023.115931>
26. Holubnycha V.M., Kholodylo O.V. War impact on antimicrobial resistance and bacteriological profile of wound infections in Ukraine. *Communicable Medicine (London)*. 2025. Vol. 5, № 1. P. 394. DOI: <http://doi.org/10.1038/s43856-025-01056-6>
27. Mondol S.M., Islam M.R., Mia M.E., Hassan M.H., Farhad F., Akter K., et al. Molecular and genomic insights into multidrug-resistant (MDR) and extensively drug-resistant (XDR) *Pseudomonas aeruginosa* causing burn wound infections in Bangladesh. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15, № 1. P. 25445. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41598-025-11614-6>
28. Pruskowski K.A. Pharmacokinetics and pharmacodynamics of antimicrobial agents in burn patients. *Surgical Infections (Larchmont)*. 2021. Vol. 22, № 1. P. 77–82. DOI: <http://doi.org/10.1089/sur.2020.375>
29. Tebano G., Ia Martire G., Raumer L., Cricca M., Melandri D., Pea F., et al. Which are the best regimens of broad-spectrum beta-lactam antibiotics in burn patients? A systematic review of evidence from pharmacology studies. *Antibiotics (Basel)*. 2023. Vol. 12, № 12. P. 1737. DOI: <http://doi.org/10.3390/antibiotics12121737>
30. Sedighi O., Bednarke B., Sherriff H., Doiron A.L. Nanoparticle-based strategies for managing biofilm infections in wounds: a comprehensive review. *ACS American Chemical Society Omega*. 2024. Vol. 9, № 26. P. 27853–27871. DOI: <http://doi.org/10.1021/acsomega.4c02343>
13. Serwecińska L. Antimicrobials and antibiotic-resistant bacteria: a risk to the environment and to public health. *Water (Basel)*. 2020;12(12):3313. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12123313>
14. Lorusso AB, Carrara JA, Barroso CDN, Tuon FF, Faoro H. Role of efflux pumps on antimicrobial resistance in *Pseudomonas aeruginosa*. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(24):15779. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms232415779>
15. Michaelis C, Grohmann E. Horizontal gene transfer of antibiotic resistance genes in biofilms. *Antibiotics (Basel)*. 2023;12(2):328. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics12020328>
16. Bhat BA, Mir RA, Qadri H, Dhiman R, Almilaibary A, Alkhanani M, et al. Integrons in the development of antimicrobial resistance: critical review and perspectives. *Frontiers in Microbiology*. 2023;14:1231938. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1231938>
17. Gomersall J, Mortimer K, Hassan D, Whitehead KA, Slate AJ, Ryder SF, et al. Ten-year analysis of bacterial colonisation and outcomes of major burn patients with a focus on *Pseudomonas aeruginosa*. *Microorganisms*. 2023;12(1):42. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms12010042>
18. Urena H, Aliieva N, Matolinets N, Hemsley C, Holcomb JB, Samchuk O, et al. Cumulative antibiogram results of over 6800 diagnostic isolates from the First Lviv Territorial Medical Union, Ukraine. *The Lancet Infectious Diseases*. 2025;25(4):e200–1. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(25\)00116-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(25)00116-1)
19. Kuzin I, Matskov O, Bondar R, Lapin R, Vovk T, Howard A, et al. Notes from the field: responding to the wartime spread of antimicrobial-resistant organisms – Ukraine, 2022. *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2023;72:1333–4. DOI: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm7249a5>
20. Elfadadny A, Ragab RF, AlHarbi M, Badshah F, Ibáñez-Arancibia E, Farag A, et al. Antimicrobial resistance of *Pseudomonas aeruginosa*: navigating clinical impacts, current resistance trends, and innovations in breaking therapies. *Frontiers in Microbiology*. 2024;15:1374466. DOI: <http://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1374466>
21. Hemmati J, Azizi M, Asghari B, Arabestani MR. Multidrug-resistant pathogens in burn wound, prevention, diagnosis, and therapeutic approaches (conventional antimicrobials and nanoparticles). *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology*. 2023;8854311. DOI: <http://doi.org/10.1155/2023/8854311>
22. The documents of the European Committee on Antimicrobial Susceptibility testing. (In Ukrainian). URL: <https://surl.li/rtmfsp>
23. Rahman HA, Noraidi A, Hj Khalid A, Mohamad-Adam A, Zahari N, Tuming NE. Practical guide to calculate sample size for chi-square test in biomedical research. *BioMed Central Medical Research Methodology*. 2025;25:144. DOI: <http://doi.org/10.1186/s12874-025-02584-4>
24. La Rosa R, Molin S, Johansen HK. *Pseudomonas aeruginosa*: persistence beyond antibiotic resistance. *Trends in Microbiology*. 2025;33(10):1076–84. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.tim.2025.05.004>
25. Arslan E, Coşkun MK, Çobanoğlu Ş, Aslan MH, Yazıcı A. Effects of four antibiotics on *Pseudomonas aeruginosa* motility, biofilm formation, and biofilm-specific antibiotic resistance genes expression. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*. 2023;106(3):115931. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2023.115931>
26. Holubnycha VM, Kholodylo OV. War impact on antimicrobial resistance and bacteriological profile of wound infections in Ukraine. *Communicable Medicine (London)*. 2025;5(1):394. DOI: <http://doi.org/10.1038/s43856-025-01056-6>
27. Mondol SM, Islam MR, Mia ME, Hassan MH, Farhad F, Akter K, et al. Molecular and genomic insights into multidrug-resistant (MDR) and extensively drug-resistant (XDR) *Pseudomonas aeruginosa* causing burn wound infections in Bangladesh. *Scientific Reports*. 2025;15(1):25445. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41598-025-11614-6>
28. Pruskowski KA. Pharmacokinetics and pharmacodynamics of antimicrobial agents in burn patients. *Surgical Infections (Larchmont)*. 2021;22(1):77–82. DOI: <http://doi.org/10.1089/sur.2020.375>
29. Tebano G, Ia Martire G, Raumer L, Cricca M, Melandri D, Pea F, et al. Which are the best regimens of broad-spectrum beta-lactam antibiotics in burn patients? A systematic review of evidence from pharmacology studies. *Antibiotics (Basel)*. 2023;12(12):1737. DOI: <http://doi.org/10.3390/antibiotics12121737>
30. Sedighi O, Bednarke B, Sherriff H, Doiron AL. Nanoparticle-based strategies for managing biofilm infections in wounds: a comprehensive review. *ACS American Chemical Society Omega*. 2024;9(26):27853–71. DOI: <http://doi.org/10.1021/acsomega.4c02343>

Обмеження дослідження

Дослідження має обсерваційний одноцентровий характер, що обмежує можливість встановлення причинно-наслідкових зв'язків та зберігає ризик селекційного зміщення.

Limitations of the study

The study has an observational single-center design, limiting the ability to establish causal relationships and retaining the risk of selection bias. Sample size and structure may affect

Розмір і структура вибірки можуть впливати на точність оцінок та узагальнюваність отриманих результатів, зважаючи на локальні особливості маршрутизації пацієнтів і практики антибіотикотерапії в Україні. Визначення чутливості мікроорганізмів проводили з використанням одного лабораторного методу без рутинного визначення мінімальних інгібуючих концентрацій (МІК), що могло вплинути на інтерпретацію окремих показників. Застосування методів визначення МІК та молекулярно-генетичних (ПЛР) тестів для детекції генів резистентності могло б підвищити точність оцінки антибіотикочутливості, однак їх широке впровадження було обмежене організаційними та ресурсними складнощами в умовах воєнного стану. Крім того, дослідження оцінювало лише *in vitro* чутливість без аналізу клінічних наслідків антибактеріальної терапії. Для підтвердження отриманих висновків доцільні проспективні мультицентрові дослідження з більшими вибірками, що поєднують визначення МІК, молекулярні методи та клінічну валідацію результатів.

Перспективи подальших досліджень

Отримані результати створюють основу для подальшого вивчення механізмів формування антибіотикорезистентності *P. aeruginosa* у пацієнтів з рановими інфекціями та опіковою хворобою. Перспективним напрямком є проведення молекулярно-генетичних досліджень з метою виявлення генів, відповідальних за резистентність до карбапенемів, аміноглікозидів та β -лактамних антибіотиків.

Подальші дослідження також доцільно спрямувати на оцінку ефективності комбінацій сучасних антибактеріальних препаратів і антисиньогнійних бактеріофагів, що може стати альтернативою традиційній антибіотикотерапії. Важливим завданням залишається створення локальних баз даних антибіотикочутливості, які дозволять проводити моніторинг динаміки резистентності *P. aeruginosa* у межах окремих лікувальних закладів.

Розширення вибірки та проведення мультицентрових досліджень дадуть змогу розробити ефективні регіональні протоколи емпіричної антибіотикотерапії, підвищити ефективність лікування інфекційних ускладнень і знизити частоту виникнення полірезистентних штамів.

Конфлікт інтересів

Автори не мають конфлікту інтересів, про який слід заявити.

Дотримання етичних норм

Дослідження не порушує етичних норм, оскільки не передбачає прямої участі пацієнтів та втручань у їхній стан здоров'я та проводилось виключно на виділених штамів.

Використання штучного інтелекту

Усі етапи роботи – від концептуалізації до фінального редагування – виконані без залучення генеративного штучного інтелекту, виключно авторами.

Первинні дані та матеріали

Для дослідження використано 32 лікарняні штами *Pseudomonas aeruginosa*, виділені з ран госпіталізованих пацієнтів. Зразки збирали стерильно та зберігали при +4 °C для проведення мікробіологічного дослідження.

the accuracy of estimates and generalizability of results, considering local features of patient routing and antibiotic therapy practices in Ukraine. Microbial susceptibility testing was performed using a single laboratory method without routine determination of minimum inhibitory concentrations (MICs), which could influence the interpretation of individual indicators. The use of MIC determination methods and molecular-genetic (PCR) tests for detecting resistance genes could enhance the accuracy of antibiotic susceptibility assessment; however, their widespread implementation was limited by organizational and resource constraints under martial law conditions. Additionally, the study evaluated only *in vitro* susceptibility without analyzing clinical outcomes of antibacterial therapy. To confirm the findings, prospective multicenter studies with larger samples are warranted, combining MIC determination, molecular methods, and clinical validation of results.

Prospects for further research

The results provide a foundation for further investigation of the mechanisms underlying *P. aeruginosa* antibiotic resistance in patients with wound infections and burn disease. A promising area is molecular-genetic research to identify genes responsible for resistance to carbapenems, aminoglycosides, and β -lactam antibiotics.

Future studies should also evaluate the efficacy of combinations of modern antibiotics and anti-*Pseudomonas* bacteriophages, which may serve as alternatives to traditional antibiotic therapy. Developing local antibiotic susceptibility databases will allow monitoring of *P. aeruginosa* resistance dynamics within individual healthcare facilities.

Expanding the sample size and conducting multicenter studies will facilitate the development of effective regional empirical antibiotic therapy protocols, improve the treatment of infectious complications, and reduce the prevalence of multidrug-resistant strains.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethics statement

The study does not violate ethical standards, as it does not involve direct participation of patients or interventions in their health status and was conducted exclusively on isolated strains.

Use of Generative Artificial Intelligence

All stages of this work – from conceptualization to final editing – were performed solely by the authors, without the use of generative artificial intelligence.

Data availability statement

The study used 32 hospital *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from wounds of hospitalized patients. Samples were collected under sterile conditions and stored at +4 °C for microbiological analysis.

Інформація про фінансування

Дослідження проводилося з ініціативи авторів і не фінансувалося жодним джерелом. Стаття є фрагментом планової науково-дослідної роботи кафедри мікробіології, вірусології та імунології ім. проф. Д. П. Гриньова Харківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України «Оптимізація застосування хіміотерапевтичних препаратів при гнійно-запальних захворюваннях з урахуванням факторів патогенності збудників», номер державної реєстрації: 0125U001216, прикладна, термін виконання: 2025–2029 рр., керівник – завідувачка кафедри мікробіології, вірусології та імунології ім. проф. Д. П. Гриньова, доктор медичних наук, професор М.М. Мішина.

Funding information

The study was conducted on the authors' initiative and received no external funding.

The article is a fragment of the planned research work of the Department of Microbiology, Virology, and Immunology named after Prof. D.P. Hrynov of Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine «Optimization of Chemotherapeutic Drug Use in Purulent-Inflammatory Diseases Considering the Pathogenicity Factors of the Pathogens», State Registration Number 0125U001216, applied research, implementation period: 2025–2029, project supervisor – Head of the Department of Microbiology, Virology, and Immunology named after Prof. D. P. Hrynov, Doctor of Medical Sciences, Professor M.M. Mishyna.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Котзар Олена Василівна – кандидат медичних наук, доцент кафедри мікробіології, вірусології та імунології ім. проф. Д.П. Гриньова Харківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України; просп. Науки, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;
e-mail: ov.kotsar@knmu.edu.ua
mob.: +38 (066) 862-15-92

Внесок автора: проведення мікробіологічних досліджень, збір даних, обробка та інтерпретація результатів, формулювання висновків, написання та редагування статті.

Кочнева Олена Володимирівна – кандидат медичних наук, доцент кафедри мікробіології, вірусології та імунології ім. проф. Д.П. Гриньова Харківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України; просп. Науки, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;
e-mail: ov.kochnieva@knmu.edu.ua
mob.: +38 (095) 777-28-06

Внесок автора: здійснення пошуку, аналіз та узагальнення наукових джерел, підготовка огляду літератури, формулювання мети роботи, інтерпретація результатів, написання та редагування статті.

Ковальов Максим Михайлович – асистент кафедри фізіології Харківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України; просп. Науки, буд. 4, м. Харків, Україна, 61022;
e-mail: mm.kovalov@knmu.edu.ua
mob.: +38 (067) 995-17-39

Внесок автора: обробка та аналіз інформації, написання та редагування статті.

Циганенко Оксана Сергіївна – кандидат медичних наук, доцент кафедри хірургії № 4 Харківського національного медичного університету Міністерства охорони здоров'я України; просп. Науки, 4, м. Харків, Україна, 61022;
e-mail: os.tsyhanenko@knmu.edu.ua
тел.: +38 (057) 707-73-80

Внесок автора: відбір матеріалу для дослідження, лікування пацієнтів, аналіз інформації та узагальнення висновків.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Kotsar Olena Vasylivna – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of Department of Microbiology, Virology and Immunology named after Prof. D.P. Grynyov of the Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine; 4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022;
e-mail: ov.kotsar@knmu.edu.ua
tel.: +38 (066) 862-15-92

Author's contribution: conducted microbiological research, collected and processed data, interpreted results, formulated conclusions, wrote and edited the manuscript.

Kochnieva Olena Volodymyrivna – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of Department of Microbiology, Virology and Immunology named after Prof. D.P. Grynyov of the Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine; 4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022;
e-mail: ov.kochnieva@knmu.edu.ua
tel.: +38 (095) 777-28-06

Author's contribution: performed literature search, analysis and synthesis of scientific sources, prepared the literature review, formulated the research aim, interpreted results, wrote and edited the manuscript.

Kovalov Maksym Mykhailovych – Assistant Professor of the Department of Physiology of the Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine; 4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022;
e-mail: mm.kovalov@knmu.edu.ua
tel.: +38 (067) 995-17-39

Author's contribution: Data processing and analysis, writing and editing of the manuscript, statistical data analysis, and summarization of conclusions.

Tsyhanenko Oksana Serhiivna – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of Department of Surgery № 4 of the Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine; 4 Nauky Ave., Kharkiv, Ukraine, 61022;
e-mail: os.tsyhanenko@knmu.edu.ua
tel.: +38 (057) 707-73-80

Author's contribution: material selection for research, patient treatment, information analysis and summarization of conclusions.

Рукопис надійшов
Manuscript was received
29.08.2025

Отримано після рецензування
Received after review
12.11.2025

Прийнято до друку
Accepted for printing
19.11.2025

Опубліковано
Published
24.11.2025