

DOI: 10.21802/artm.2025.4.36.58  
УДК 616.71-001.5:616.71-002**МІКРОБІОЛОГІЧНІ ПРЕДИКТОРИ КЛІНІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОСТЕОПЛАСТИКИ ВОГНЕПАЛЬНИХ ПЕРЕЛОМІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПОЛІМЕТИЛМЕТАКРИЛАТНОГО КІСТКОВОГО ЦЕМЕНТУ**

В. О. Фіщенко, О. М. Литвинюк

*Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова, кафедра травматології та ортопедії, м. Вінниця, Україна**ORCID ID: 0000-0001-9811-7861, Scopus ID: 7003704378, e-mail: fishchenko2221@gmail.com**ORCID: 0009-0005-8447-7803, e-mail: md.lytvyuniuk@gmail.com*

**Резюме.** Мета дослідження полягала в оцінці прогностичного значення мікробіологічного пейзажу при остеопластичі дефектів кісткової тканини з використанням кісткового цементу на основі поліметилметакрилату (ПММА) у пацієнтів із вогнепальними переломами довгих трубчастих кісток. Проаналізовано клінічні результати остеопластики дефектів кісткової тканини з використанням ПММА-кісткового цементу при вогнепальних переломах трубчастих кісток у 39 поранених, середній вік яких становить  $38,77 \pm 9,31$  років. Оцінку клінічних результатів здійснювали за модифікованою 100-бальною шкалою Neer–Grantham–Shelton. Для статистичного аналізу використовували програмний засіб IBM SPSS Statistics 27.0.1, значущими вважали відмінності при  $p \leq 0,05$ . Клінічний результат лікування вважали «добрим» при середньому значенні  $74,51 \pm 14,24$  балів. Відмінні результати встановлено в 11 (28,20 %) пацієнтів, добрі – у 14 (35,90 %) осіб, задовільні – у 9 (23,08 %) хворих, незадовільні – у 5 (12,82 %) поранених. Достовірно гірші результати використання ПММА-кісткового цементу спостерігали у пацієнтів із вогнепальними пораненнями, контамінованими грамнегативною мікрофлорою ( $\tau = -0,48$ ,  $p = 0,0002$ ), мікроорганізмами родини *Enterobacteriaceae* ( $\tau = -0,28$ ,  $p = 0,03$ ), бактеріями роду *Klebsiella* ( $\tau = -0,28$ ,  $p = 0,03$ ), збудниками групи *ESKAPE* ( $\tau = -0,44$ ,  $p = 0,0006$ ). Значно кращі результати були у пацієнтів із вогнепальними пораненнями, контамінованими грампозитивною флорою ( $\tau = +0,48$ ,  $p = 0,0002$ ), бактеріями роду *Staphylococcus* ( $\tau = +0,32$ ,  $p = 0,01$ ), ізолятами роду *Bacillus* ( $\tau = +0,31$ ,  $p = 0,02$ ). Вищі шанси відмінних результатів остеопластики з використанням ПММА-кісткового цементу встановлені за наявності грампозитивної мікрофлори у бойових ранах ( $OR = 7,50$ ,  $CI (1,15-48,97)$ ,  $p = 0,02$ ). Визначення мікроорганізмів у ранах групи *ESKAPE* мало вищі шанси тільки задовільних клінічних результатів ( $OR = 2,79$ ,  $CI (1,35-13,35)$ ,  $p = 0,003$ ).

**Ключові слова:** дефекти кісткової тканини, вогнепальні переломи, бойова травма, бактеріальна контамінація ран, прогнозування.

**Вступ.** Вогнепальні переломи довгих трубчастих кісток із дефектами кісткової тканини є однією з найскладніших проблем сучасної травматології та реконструктивної ортопедії. Відновлення анатомічної цілісності сегмента та функціональної спроможності кінцівки у подібних випадках переважно ускладнено у зв'язку з високою частотою бактеріальної контамінації ран, які суттєво знижують загальну клінічну ефективність хірургічного лікування [1-3]. Високий ризик ускладнень зумовлений первинною контамінацією ран, значним ураженням м'яких тканин і повторними операціями. Поширеність інфекційних ускладнень при бойовій травмі опорно-рухового апарату сягає 50 % та асоційована з більш тривалим періодом лікування і реабілітації, вищим ризиком повторних втручань, втраченою кінцівкою та вищими показниками летальності [4-6].

Окрім того, висока частка незадовільних результатів лікування вогнепальних переломів трубчастих кісток з дефектами кісткової тканини зумовлена колонізацією ран полірезистентними штамами грамнегативних і грампозитивних бактерій, здатних утворювати біоплівки та знижувати чутливість до традиційної антибактеріальної терапії [4, 7].

Одним з найбільш ефективних методів реконструкції кісткового дефекту критичного розміру є використання кісткового цементу на основі поліметилметакрилату (ПММА) у вигляді антибіотик-насичених

форм або цементних спейсерів чи спейсер-імплантів. Ефективність застосування композитів ПММА-кісткового цементу зумовлена його біосумісністю, високими механічними властивостями та можливістю введення антибактеріальних препаратів безпосередньо в цементну матрицю. Вказане дозволяє досягти подвійного ефекту – стабілізації кісткового дефекту та профілактики інфекційних ускладнень [8-11]. До того ж, високі показники ерадикації бактеріальної інфекції та клінічних результатів застосування спейсерів у лікуванні хронічного остеомієліту підтверджені даними численних клінічних досліджень [8, 12, 13].

Варто відмітити, що ефективність використання ПММА-кісткового цементу значною мірою залежить від характеристики мікрофлори ранового вмісту, здатності бактерій до біоплівкоутворення, їх антибіотикорезистентності та взаємодії з поверхнею цементу. Згідно з результатами низки клінічних досліджень присутність полімікробної флори та грамнегативних бактерій асоційована з вищим ризиком повторної бактеріальної контамінації та ускладнень, у порівнянні з моноінфекціями або чутливими грампозитивними штамами [4, 7].

Таким чином, аналіз мікробіологічних предикторів ефективності застосування ПММА-кісткового цементу в лікуванні вогнепальних переломів із дефектами кісткової тканини є актуальним завданням сучасної медицини. Дослідження асоціацій між

бактеріальними патогенами та клінічними результатами лікування дозволить підвищити якість реконструктивних втручань, знизити частоту інфекційних ускладнень в післяопераційному періоді, скоротити терміни лікування та покращити функціональні результати у поранених.

**Мета дослідження** – проаналізувати прогностичне значення мікробіологічних факторів у визначенні клінічної ефективності остеопластики дефектів кісткової тканини з використанням ПММА-кісткового цементу в пацієнтів із вогнепальними переломами довгих трубчастих кісток.

**Об'єкт і методи дослідження.** Представлено результати ретроспективного когортного обсерваційного дослідження, здійсненого шляхом аналізу клінічних даних 39 поранених із вогнепальними переломами трубчастих кісток та дефектами кісткової тканини, які перебували на стаціонарному лікуванні в травматологічному відділенні КНП «Вінницька міська клінічна лікарня швидкої медичної допомоги» у 2022–2023 роках. Середній вік пацієнтів складав  $38,77 \pm 9,31$  років. Вогнепальні переломи плечової кістки з дефектами кісткової тканини встановлено у 5 (12,82 %) поранених, пошкодження кісток передпліччя – у 7 (17,95 %) пацієнтів, вогнепальні переломи стегнової кістки – у 7 (17,95 %) хворих, поранення кісток гомілки – у 21 (53,85 %) особи. Всім пацієнтам досліджуваної групи виконано остеопластику дефекту із застосуванням ПММА-кісткового цементу. Для оцінки клінічних результатів лікування використовували модифіковану 100-бальну шкалу оцінки результатів лікування пацієнтів із переломами кісток Neer–Grantham–Shelton [14]. Згідно з цією шкалою відмінний результат лікування визначали за наявності сумарних показників у діапазоні 85–100 балів, добрий – 70–84 балів, задовільний – 55–70 балів, незадовільний – менше 55 балів.

Бактеріологічне дослідження ран виконано у 31 пацієнта. Відсутність росту мікрофлори спостерігали в одного пацієнта, у 30 (96,77 %) пацієнтів виділено збудників інфекційних хвороб. У подальшому для оцінки ролі мікробіологічних чинників у прогнозуванні результату остеопластики вогнепальних переломів із дефектами кісткової тканини з використанням ПММА-кісткового цементу аналізували клінічні показники 30 пацієнтів, у яких на підставі результатів бактеріологічного дослідження ідентифіковано збудників інфекційних хвороб.

Дослідження виконували з дотриманням принципів Гельсінкської декларації Всесвітньої медичної асоціації (Сьомий перегляд, редакція 2013 року), Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину (1997 рік), а також чинних національних та інституційних етичних стандартів. Усі хворі належним чином поінформовані щодо мети дослідження та умов його проведення. Письмові інформовані згоди на участь у дослідженні отримано.

Для статистичного аналізу даних використовували програмний засіб IBM SPSS Statistics 27.0.1. Кількісні параметри наведено у форматі середнього вибіркового значення та стандартного відхилення ( $M \pm SD$ ), категоріальні змінні – у вигляді абсолютної

кількості випадків та відповідного відсоткового значення ( $n$  (%)). Для порівняння показників між незалежними групами, сформованими з урахуванням клінічного результату лікування, застосовували непараметричний критерій Краскела-Уолліса, а для оцінки функціонального зв'язку між змінними – коефіцієнт рангової кореляції  $\tau$ -Кендала. Прогностичну цінність досліджуваних характеристик щодо клінічного результату застосування ПММА-кісткового цементу визначали з використанням моделі бінарної логістичної регресії, розраховуючи відношення шансів (OR) та 95 % довірчі інтервали (CI). Статистично значущими вважали відмінності, визначені при  $p \leq 0,05$ .

**Результати дослідження та їх обговорення.** Середній клінічний результат використання ПММА-кісткового цементу в пацієнтів із вогнепальними переломами та дефектами кісткової тканини становив  $74,51 \pm 14,24$  балів і відповідав градації «добрий результат». Відмінні результати лікування встановлено в 11 (28,20 %) обстежених, добрі – у 14 (35,90 %) пацієнтів, задовільний – у 9 (23,08 %) хворих, незадовільний – у 5 (12,82 %) осіб.

Аналізуючи стан мікробіоценозу ран обстежених, у 22 (73,33 %) пацієнтів зафіксовано представників грамнегативної мікрофлори, у 8 (26,67 %) поранених – грампозитивної (табл. 1).

Серед грамнегативних мікроорганізмів, ізолюваних із бойових ран, переважали неферментуючі палички, які ідентифіковано у 14 (46,67 %) зразках, у 8 (26,67 %) випадках росту виділено мікроорганізми родини *Enterobacteriaceae*.

Враховуючи специфіку мікробного спектра ран обстежених з урахуванням клінічного результату використання ПММА-кісткового цементу, грамнегативні мікроорганізми зафіксовано в усіх обстежених із задовільними та незадовільними клінічними показниками – 8 (100,00 %) та 5 (100,00 %) відповідно, а також 5 (62,50 %) пацієнтів із добрими значеннями та 4 (44,44 %) хворих з відмінними результатами лікування. Під час порівняння частоти ідентифікації грамнегативних патогенів у сформованих групах доведено статистично значущу відмінність показників ( $p=0,03$ ). Окрім того, у пацієнтів із вогнепальними пораненнями, контамінованими грамнегативною мікрофлорою, доведено достовірно гірші клінічні результати використання ПММА-кісткового цементу, що підтверджено наявністю зворотного помірної кореляційного зв'язку між показниками ( $\tau=-0,48$ ,  $p=0,0002$ ).

У мікробному профілі грамнегативних неферментуючих паличок 9 (30,00 %) ізолятів належали до роду *Acinetobacter*, 5 (16,67 %) – до роду *Pseudomonas*. Серед ізолятів роду *Acinetobacter*, штам *Acinetobacter baumannii* був ідентифікований у переважній більшості – 8 (26,67 %) зразках, у 1 (11,11 %) випадку збудник не встановленого типу. Бактерії *Pseudomonas*, *Pseudomonas aeruginosa* зафіксовано у 4 (13,33 %) випадках, у 1 (11,11 %) випадку встановити видову належність збудника не вдалося.

Таблиця 1

## Порівняльна характеристика результатів мікробіологічного дослідження бойових ран обстежених пацієнтів

Ідентифікований збудник	Клінічні результати лікування				p
	відмінні (n=9)	добрі (n=8)	задовільні (n=8)	незадовільні (n=5)	
<b>Грамнегативні мікроорганізми</b>	4 (44,44 %)	5 (62,50 %)	8 (100,00 %)	5 (100,00 %)	0,03*
родина <i>Enterobacteriaceae</i>	1 (11,11 %)	2 (25,00 %)	3 (37,50 %)	2 (40,00 %)	0,57
рід <i>Enterobacter</i>	1 (11,11 %)	0 (0,00 %)	2 (25,00 %)	0 (0,00 %)	0,34
рід <i>Klebsiella</i>	0 (0,00 %)	2 (25,00 %)	1 (12,50 %)	2 (40,00 %)	0,25
неферментуючі палички	3 (33,33 %)	3 (37,50 %)	5 (62,50 %)	3 (60,00 %)	0,57
рід <i>Acinetobacter</i>	1 (11,11 %)	3 (37,50 %)	3 (37,50 %)	2 (40,00 %)	0,55
рід <i>Pseudomonas</i>	2 (22,22 %)	0 (0,00 %)	2 (25,00 %)	1 (20,00 %)	0,54
<b>Грампозитивні мікроорганізми</b>	5 (55,56 %)	3 (37,50 %)	0 (0,00 %)	0 (0,00 %)	0,03*
рід <i>Staphylococcus</i>	3 (33,33 %)	2 (25,00 %)	0 (0,00 %)	0 (0,00 %)	0,20
рід <i>Bacillus</i>	2 (22,22 %)	1 (12,50 %)	0 (0,00 %)	0 (0,00 %)	0,41
<b>ESKAPE</b>	3 (33,33 %)	4 (50,00 %)	8 (100,00 %)	4 (80,00 %)	0,03*

**Примітка.** \* доведено статистично значущу відмінність показників при  $p \leq 0,05$ .

Враховуючи клінічні результати використання ПММА-кісткового цементу, грамнегативні неферментуючі палички ідентифіковано у ранах більшості пацієнтів із задовільними значеннями та незадовільними показниками – 5 (62,50 %) та 3 (60,00 %) відповідно, а також 3 (33,33 %) хворих з відмінними значеннями і ще 3 (37,50 %) поранених із добрими результатами лікування; відмінність частотних характеристик недостовірна ( $p=0,57$ ), кореляційний зв'язок статистично незначущий ( $\tau=-0,18$ ,  $p=0,17$ ).

При мікробіологічному дослідженні вмісту ран бактерії роду *Pseudomonas* ідентифіковано у 2 (22,22 %) пацієнтів із відмінними результатами, у 2 (25,00 %) обстежених із задовільними значеннями та 1 (20,00 %) пораненого з незадовільними показниками лікування, відмінність статистично незначуща ( $p=0,54$ ). Достовірний кореляційний зв'язок із результатами використання ПММА-кісткового цементу відсутній ( $\tau=-0,04$ ,  $p=0,76$ ). Ізоляти роду *Acinetobacter* ідентифіковано у рані 1 (11,11 %) пораненого з відмінними показниками, у 3 (37,50 %) хворих із добрими значеннями, у 3 (37,50 %) осіб із задовільними показниками та у 2 (40,00 %) пацієнтів із незадовільними результатами лікування; відмінність встановлених частотних характеристик статистично незначуща ( $p=0,55$ ), кореляційний зв'язок недостовірний ( $\tau=-0,16$ ,  $p=0,22$ ).

Серед представників родини *Enterobacteriaceae* у 5 (16,67 %) випадках ізоляти належали до роду *Klebsiella*, у 3 (10,00 %) випадках – до роду *Enterobacter*. Серед ізольованих штамів роду *Klebsiella* у 3 (10,00 %) зразках висіяно *Klebsiella pneumoniae*, у 1 (2,50 %) випадку збудника не вдалося визначити тип. Усі ізоляти мікроорганізмів роду *Enterobacter* ідентифіковані як *Enterobacter cloacae*.

Під час мікробіологічного дослідження ран бактерії родини *Enterobacteriaceae* встановлено в 1 (11,11 %) пацієнта з відмінними результатами, у 2 (25,00 %) хворих із добрими значеннями, у 3 (37,50 %) обстежених із задовільними показниками та у 2 (40,00 %) поранених із незадовільними результатами

використання ПММА-кісткового цементу; відмінність частот недостовірна ( $p=0,57$ ). Однак, ідентифікація мікроорганізмів родини *Enterobacteriaceae* у рані асоційована з розвитком значущо гірших результатів лікування ( $\tau=-0,28$ ,  $p=0,03$ ).

Під час бактеріологічного дослідження ізоляти роду *Enterobacter* виділено у рані 1 (11,11 %) хворого з добрим клінічним показником та у 2 (25,00 %) обстежених із задовільними значеннями; відмінність показників недостовірна ( $p=0,34$ ), значущий кореляційний зв'язок з клінічними результатами використання ПММА-кісткового цементу відсутній ( $\tau=-0,07$ ,  $p=0,59$ ).

Представників роду *Klebsiella* ідентифіковано у ранах 2 (25,00 %) поранених із добрими клінічними показниками, в 1 (12,50 %) обстеженого із задовільними значеннями та 2 (40,00 %) поранених із незадовільними результатами лікування. Не дивлячись на відсутність достовірної відмінності показників, що характеризували частоту ідентифікації бактерій роду *Klebsiella*, у сформованих групах ( $p=0,25$ ), наявність вказаних збудників асоційована із формуванням значущо гірших результатів використання ПММА-кісткового цементу ( $\tau=-0,28$ ,  $p=0,03$ ).

У структурі грампозитивної мікрофлори вогнепальних ран грампозитивні коки представлені бактеріями роду *Staphylococcus*, яких виділено у 5 (16,67 %) випадках, у 3 (10,00 %) зразках ідентифіковано грампозитивні палички, які належали до роду *Bacillus*.

Ізольовані штами роду *Staphylococcus*, *Staphylococcus haemolyticus* виділено у 4 (13,33 %) зразках, у 1 (3,33 %) випадку збудника ідентифіковано як *Staphylococcus aureus*. Мікроорганізми роду *Bacillus* у 2 (6,67 %) випадках належали до виду *Bacillus cereus*, у 1 (3,33 %) випадку тип збудника визначити не вдалося.

Контамінацію ран грампозитивними мікроорганізмами ідентифіковано у більшості випадків – у 5 (55,56 %) пацієнтів із відмінними результатами використання ПММА-кісткового цементу та у 3 (37,50 %) обстежених із добрими показниками, у хворих решти груп вказані бактерії не фіксували; відмінність

частотних значень достовірна ( $p=0,03$ ). У пацієнтів із вогнепальними пораненнями, контамінованими грам-позитивною флорою, доведено формування достовірно кращих клінічних результатів використання ПММА-кісткового цементу, що підтверджено наявністю прямого помірної кореляційного зв'язку між показниками ( $\tau=+0,48$ ,  $p=0,0002$ ).

Ізоляти роду *Staphylococcus* зафіксовано у 3 (33,33 %) хворих із відмінними клінічними показниками та у 2 (25,00 %) обстежених із добрими значеннями; відмінність частот статистично незначуща ( $p=0,20$ ). Варто відзначити, що наявність бактерій роду *Staphylococcus* у ранах обстежених із вогнепальними пораненнями асоційована з розвитком значущо кращих результатів використання ПММА-кісткового цементу ( $\tau=+0,32$ ,  $p=0,01$ ).

Мікроорганізми роду *Bacillus* зафіксовано у ранах 2 (22,22 %) хворих із відмінними клінічними показниками та в 1 (12,50 %) пацієнта з добрим результатом лікування; відмінність частотних характеристик статистично незначуща ( $p=0,41$ ). Ідентифікація ізолятів роду *Bacillus* у ранах пов'язана з достовірно кращими клінічними результатами використання ПММА-кісткового цементу ( $\tau=+0,31$ ,  $p=0,02$ ).

Додатково у пацієнтів із вогнепальними пораненнями аналізували частоту випадків контамінації ран збудниками групи *ESKAPE*. Бактерії групи *ESKAPE* встановлено у 19 (48,72 %) випадках, зокрема у 3 (33,33 %) пацієнтів із відмінними результатами використання ПММА-кісткового цементу, у 4 (50,00 %) осіб із добрими значеннями, усіх хворих із задовільними показниками – 8 (100,00 %) та більшості – 4 (80,00 %) обстежених із незадовільними результатами лікування. Порівнюючи частотні показники з клінічними результату лікування, доведено їх достовірну відмінність ( $p=0,03$ ). Ідентифікація збудників групи *ESKAPE* у ранах пов'язана зі значущо гіршими результатами використання ПММА-кісткового цементу, що підтверджено зворотним помірним кореляційним зв'язком між показниками ( $\tau=-0,44$ ,  $p=0,0006$ ).

Аналізуючи результати мікробіологічних досліджень, нами підтверджено, що контамінація ран представниками грам-позитивної мікрофлори підвищує шанси формування відмінних результатів використання ПММА-кісткового цементу (OR=7,50, CI (1,15-48,97),  $p=0,02$ ), натомість наявність грамнегативних патогенів знижує шанси розвитку відмінних клінічних показників (OR=0,13, CI (0,02-0,87),  $p=0,02$ ) (табл. 2).

Таблиця 2

**Прогностична цінність результатів мікробіологічного дослідження бойових ран щодо клінічних результатів використання ПММА-кісткового цементу**

Мікробіологічний компонент	Клінічні результати лікування			
	відмінні	добрі	задовільні	незадовільні
ідентифікація збудників інфекційних хвороб	$p=0,40$	$p=0,44$	$p=0,11$	$p=0,55$
<b>Грамнегативні мікроорганізми</b>	$p=0,02$ OR=0,13 CI (0,02-0,87)	$p=0,43$	$p=0,01$	$p=0,06$
родина <i>Enterobacteriaceae</i>	$p=0,18$	$p=0,90$	$p=0,43$	$p=0,47$
рід <i>Enterobacter</i>	$p=0,90$	$p=0,16$	$p=0,12$	$p=0,28$
рід <i>Klebsiella</i>	$p=0,046$	$p=0,47$	$p=0,71$	$p=0,16$
неферментуючі палички	$p=0,33$	$p=0,54$	$p=0,29$	$p=0,51$
рід <i>Acinetobacter</i>	$p=0,12$	$p=0,59$	$p=0,59$	$p=0,60$
рід <i>Pseudomonas</i>	$p=0,60$	$p=0,06$	$p=0,47$	$p=0,83$
<b>Грам-позитивні мікроорганізми</b>	$p=0,02$ OR=7,50 CI (1,15-48,97)	$p=0,43$	$p=0,01$	$p=0,06$
рід <i>Staphylococcus</i>	$p=0,12$	$p=0,47$	$p=0,06$	$p=0,16$
рід <i>Bacillus</i>	$p=0,16$	$p=0,79$	$p=0,16$	$p=0,28$
<b>ESKAPE</b>	$p=0,03$ OR=0,16 CI (0,03-0,93)	$p=0,37$	$p=0,003$ OR=2,79 CI (1,35-13,35)	$p=0,38$

Варто відзначити відсутність достовірного впливу загальної ідентифікації збудників інфекційних хвороб у ранах пацієнтів із вогнепальними переломами та дефектами кісткової тканини щодо клінічних результатів використання ПММА-кісткового цементу. Проте визначення у вмісті ран мікроорганізмів групи *ESKAPE* пов'язано з нижчими шансами формування відмінних клінічних показників у віддаленому періоді (OR=0,16, CI (0,03-0,93),  $p=0,03$ ) та вищими шансами розвитку задовільних результатів використання ПММА-кісткового цементу (OR=2,79, CI (1,35-13,35),  $p=0,003$ ).

Згідно з отриманими нами результатами встановлено, що застосування ПММА-кісткового цементу в системі лікування пацієнтів із вогнепальними переломами та дефектами кісткової тканини дозволяє досягти добрих клінічних значень –  $74,51 \pm 14,24$  балів. Водночас у понад 60 % обстежених встановлено відмінні та добрі результати лікування, що підтверджує високу ефективність методу. Отримані нами дані узгоджуються з результатами сучасних клінічних та оглядових робіт, у яких підтверджено результативність використання ПММА у заповненні та

стабілізації зони дефекту, локальному контролю інфекції [15, 16].

Водночас наявність майже 36 % пацієнтів із задовільними та незадовільними результатами підкреслює важливість аналізу факторів, які можуть впливати на віддалені наслідки використання ПММА-кісткового цементу.

Високий рівень контамінації ран (96,77 %) пацієнтів досліджуваної вибірки узгоджується з відомими особливостями бойових ран. Рання бактеріологічна діагностика і таргетна антибіотикотерапія є ключовими факторами для зменшення ураження кісткової тканини та формування кращих результатів лікування [17, 18].

Згідно з проведеним аналізом встановлено домінування грамнегативних патогенів (73,33 %), зокрема неферментуючих грамнегативних паличок і екземплярів родини *Enterobacteriaceae*. Контамінація ран представниками грамнегативної флори чітко корелювала з гіршими клінічними результатами ( $\tau=-0,48$ ,  $p=0,0002$ ), що підтверджує патогенетичну роль цих мікроорганізмів у формуванні ускладнень і недостатньої ефективності відновного лікування. Отримані результати узгоджуються із сучасними даними про те, що інфекції, зумовлені грамнегативними полірезистентними штамми, пов'язані з важчим клінічним перебігом, вищою частотою рецидивів і складнішим лікуванням [19, 20].

Особливої уваги заслуговує ідентифікація бактерій групи *ESKAPE*, які зафіксовано у 48,72 % випадках. Їх наявність асоційована з достовірно нижчими шансами формування відмінних результатів (OR=0,16, CI (0,03-0,93),  $p=0,03$ ) та вищою імовірністю розвитку задовільних показників (OR=2,79, CI (1,35-13,35),  $p=0,003$ ). Отримані нами дані узгоджуються із сучасними відомостями щодо клінічної значущості *ESKAPE*-патогенів, відомих своєю полірезистентністю та складністю лікування інфекцій, які вони зумовлюють, як факторів несприятливого прогнозу [19, 21]. На противагу цьому, контамінація ран грамположитивною мікрофлорою (*Staphylococcus spp.*, *Bacillus spp.*) асоційована з достовірно кращими клінічними результатами використання ПММА-кісткового цементу ( $\tau=+0,48$ ,  $p=0,0002$ ; OR=7,50, CI (1,15-48,97),  $p=0,02$ ), що можна пояснити більшою чутливістю грамположитивних збудників до антибактеріальної терапії та менш агресивним перебігом інфекційного процесу у порівнянні з грамнегативними штамми [15, 22].

Таким чином, результати нашого дослідження підтверджують, що мікробіологічна характеристика бойових ран має безпосередній вплив на клінічну ефективність використання ПММА-кісткового цементу. Ідентифікацію грамнегативних патогенів, особливо групи *ESKAPE*, слід розглядати як несприятливий прогностичний фактор, тоді як наявність грамположитивної флори асоційована з кращими клінічними результатами. Отримані дані свідчать про необхідність комплексного підходу до лікування поранених із вогнепальними переломами та дефектами кісткової тканини, що включає не лише використання кісткових замінників, але й обов'язкову бактеріологічну діагностику та адекватну антибактеріальну терапію з урахуванням специфіки збудників.

**Висновки.** У результаті проведеного дослідження підтверджено високу ефективність використання ПММА-кісткового цементу в системі лікування пацієнтів із вогнепальними переломами довгих трубчастих кісток і дефектами кісткової тканини.

Встановлено, що мікробіологічна характеристика рани є ключовим предиктором клінічної ефективності остеопластики дефектів кісткової тканини при вогнепальних переломах трубчастих кісток із використанням ПММА-кісткового цементу. З'ясовано, що контамінація ран представниками грамположитивної мікрофлори, зокрема бактеріями роду *Staphylococcus* та ізолятами роду *Bacillus*, є сприятливим прогностичним фактором успішності остеопластики дефектів із використанням ПММА-цементу.

На противагу цьому, контамінація ран збудниками групи *ESKAPE*, а також представниками грамнегативної мікрофлори, зокрема мікроорганізмами родини *Enterobacteriaceae*, у тому числі бактеріями роду *Klebsiella*, асоціюється зі зниженням ефективності використання ПММА-кісткового у пацієнтів із вогнепальними переломами трубчастих кісток та дефектами кісткової тканини.

**Перспективи подальших досліджень.** Перспективними напрямками подальших досліджень є оптимізація схем антибактеріальної терапії залежно від мікробіологічного профілю бойових ран, а також дослідження впливу антибіотик-імпрегнованих кісткових цементів на результати лікування вогнепальних переломів.

**Конфлікт інтересів:** відсутній.

## References:

1. Hrytsai MP, Kolov HB, Sabadosh VI, Vyderko RV, Polovyi AS, Hutsailiuk VI. Main Surgical Methods of Critical Tibial Bone Defects Replacement (Literature Review). Part II. Terra Orthopaedica. 2024; 2(121):45-53. <https://doi.org/10.37647/2786-7595-2024-121-2-45-53> (in Ukrainian)
2. Burianov O, Kvasha V, Sobolevskiy Y, Yarmoliuk Y, Klapchuk Y, Los D, et al. Methodological principles of diagnosis verification and treatment tactics determination in combat limb injuries with bone defects. Orthop Traumatol Prosthet. 2024; (4):5-13. Available from: <https://doi.org/10.15674/0030-5987202345-13>
3. Hrytsai MP, Kolov HB, Sabadosh VI, Vyderko RV, Polovyi AS, Hutsailiuk VI. Osnovni khirurhichni metody zameshchennia krytychnykh kistkovykh defektiv velykohomilkovoi kistky (ohliad literatury). Terra Orthopaedica. 2024; 1:42-49. Rezhym dostupu: <https://doi.org/10.37647/2786-7595-2024-120-1-42-49> (in Ukrainian)
4. Holubnycha VM, Kholodylo OV. War impact on antimicrobial resistance and bacteriological profile of wound infections in Ukraine. Commun Med (Lond). 2025; 5(1):394. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43856-025-01056-6>
5. Krishtafor DA, Krishtafor AA, Halushchak AY, Mynka VY, Seleznova UV, Grabova GY. Antibacterial therapy for combat gunshot trauma: eight years after (retrospective observational study). Emergency Medicine (Ukraine). 2023; 19(4):241-248.

- <https://doi.org/10.22141/2224-0586.19.4.2023.1591>  
(in Ukrainian)
6. Fomin OO, Fomina NS, Lazarenko YuV, Shalyhin SM, Shamin AM, Kuziv Yel, et al. Features of the use of antibiotics in the treatment of gunshot fractures of long bones. *Suchasni Medychni Tekhnolohii*. 2020; (2):27-42. <https://doi.org/10.32751/2310-4910-2020-27-42>. (in Ukrainian)
  7. Sun H, Dong D, Zhao M, Jian J. Infection with multi-drug resistant organisms in patients with limb fractures: Analysis of risk factors and pathogens. *Biomed Rep*. 2023; 20(2):28. Available from: <https://doi.org/10.3892/br.2023.1716>
  8. Jiang C, Zhu G, Liu Q. Current application and future perspectives of antimicrobial degradable bone substitutes for chronic osteomyelitis. *Front Bioeng Biotechnol*. 2024; 12:1375266. Available from: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1375266>
  9. Ramanathan S, Lin Y-C, Thirumurugan S, Hu C-C, Duann Y-F, Chung R-J. Poly(methyl methacrylate) in Orthopedics: Strategies, Challenges, and Prospects in Bone Tissue Engineering. *Polymers*. 2024; 16(3):367. <https://doi.org/10.3390/polym16030367>
  10. Boschetto F, Honma T, Adachi T, Kanamura N, Zhu W, Yamamoto T, et al. Development and evaluation of osteogenic PMMA bone cement composite incorporating curcumin for bone repairing. *Materials Today Chemistry*. 2023; 27(23):101307. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2022.101307>
  11. Xia Y, Wang H, Li Y, Fu C. Engineered bone cement trigger bone defect regeneration. *Front. Mater*. 2022; 9:929618. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.929618>
  12. Sambri A, Cevolani L, Passarino V, Bortoli M, Parisi SC, Fiore M, Campanacci L, Staals E, Donati DM, De Paolis M. Mid-Term Results of Single-Stage Surgery for Patients with Chronic Osteomyelitis Using Antibiotic-Loaded Resorbable PerOssal® Beads. *Microorganisms*. 2023; 11(7):1623. Available from: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071623>
  13. Khury F, Karkabi I, Mazzawi E, Norman D, Melamed EA, Peled E. Revisiting Antibiotic-Impregnated Cement Spacer for Diabetic Osteomyelitis of the Foot. *Antibiotics (Basel)*. 2024; 13(12):1153. Available from: <https://doi.org/10.3390/antibiotics13121153>
  14. Neer CS II. Displaced proximal humeral fractures. I. Classification and evaluation. *J Bone Joint Surg Am*. 1970; 52(6):1077-89.
  15. Shen J, Wei Z, Wang S, Wang X, Lin W, Liu L, Wang G. Treatment of infected bone defects with the induced membrane technique. *Bone Joint Res*. 2023; 12(9):546-558. <https://doi.org/10.1302/2046-3758.129.BJR-2022-0439.R2>
  16. Gong Y, Zhang B, Yan L. A Preliminary Review of Modified Polymethyl Methacrylate and Calcium-Based Bone Cement for Improving Properties in Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *Front. Mater*. 2022; 9:912713. Available from: <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.912713>
  17. Appelbaum RD, Farrell MS, Gelbard RB, Hoth JJ, Jawa RS, Kirsch JM, Mandell S, Nohra EA, Rinderknecht T, Rowell S, et al. Antibiotic prophylaxis in injury: an American Association for the Surgery of Trauma Critical Care Committee clinical consensus document. *Trauma Surg Acute Care Open*. 2024; 9(1):e001304. Available from: <https://doi.org/10.1136/tsaco-2023-001304>
  18. Chen P, Chen B, Liu N, Lin X, Wei X, Yu B, Teng X, Lin F. Global research trends of antibiotic-loaded bone cement: A bibliometric and visualized study. *Heliyon*. 2024; 10(17):e36720. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36720>
  19. Pipitò L, Rubino R, D'Agati G, Bono E, Mazzola CV, Urso S, Zinna G, Distefano SA, Firenze A, Bonura C, Giammanco GM, Cascio A. Antimicrobial Resistance in ESKAPE Pathogens: A Retrospective Epidemiological Study at the University Hospital of Palermo, Italy. *Antibiotics (Basel)*. 2025; 14(2):186. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14020186>
  20. Sathe N, Beech P, Croft L, Suphioglu C, Kapat A, Athan E. *Pseudomonas aeruginosa*: Infections and novel approaches to treatment "Knowing the enemy" the threat of *Pseudomonas aeruginosa* and exploring novel approaches to treatment. *Infect Med (Beijing)*. 2023; 2(3):178-194. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.imj.2023.05.003>
  21. De Prisco M, Manente R, Santella B, Serrettiello E, Dell'Annunziata F, Santoro E, Bernardi FF, D'Amore C, Perrella A, Pagliano P, et al. Impact of ESKAPE Pathogens on Bacteremia: A Three-Year Surveillance Study at a Major Hospital in Southern Italy. *Antibiotics (Basel)*. 2024; 13(9):901. Available from: <https://doi.org/10.3390/antibiotics13090901>
  22. Song M, Sun J, Lv K, Li J, Shi J, Xu Y. A comprehensive review of pathology and treatment of staphylococcus aureus osteomyelitis. *Clin Exp Med*. 2025; 25(1):131. <https://doi.org/10.1007/s10238-025-01595-1>

UDC 616.71-001.5:616.71-002

**MICROBIOLOGICAL PREDICTORS OF THE CLINICAL EFFECTIVENESS OF OSTEOPLASTY FOR GUNSHOT FRACTURES USING POLYMETHYL METHACRYLATE BONE CEMENT**

V.O. Fishchenko, O.M. Lytvyniuk

*National Pirogov Memorial Medical University,  
Department of Traumatology and Orthopedic,  
Vinnytsia, Ukraine  
ORCID ID: 0000-0001-9811-7861,  
Scopus ID: 7003704378,  
e-mail: fishchenko2221@gmail.com  
ORCID: 0009-0005-8447-7803,  
e-mail: md.lytvyniuk@gmail.com*

**Abstract.** This paper presents the results of a retrospective cohort observational study aimed at analyzing the prognostic significance of microbiological factors in determining the clinical efficacy of osteoplasty for bone tissue defects using polymethyl methacrylate (PMMA) bone cement in patients with gunshot fractures of long tubular bones. Clinical outcomes of osteoplasty with PMMA bone cement were analyzed in 39 wounded patients with gunshot fractures of long tubular bones. The mean age of the patients was 38.77±9.31 years. Clinical outcomes were assessed using the modified 100-point

Neer–Grantham–Shelton scale, a validated scoring system widely applied for assessing the functional recovery after bone reconstruction. Overall, the clinical parameters of 30 patients in whom infectious agents were identified based on bacteriological testing were analyzed. Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics 27.0.1. Differences were considered statistically significant at  $p \leq 0.05$ . The mean clinical score corresponded to a good result –  $74.51 \pm 14.24$  points. Excellent results were achieved in 11 (28.20 %) patients, good in 14 (35.90 %), satisfactory in 9 (23.08 %), and poor in 5 (12.82 %). Analysis of the wound microbiocenosis revealed that in most cases – 22 (73.33 %) Gram-negative microflora predominated, while Gram-positive organisms were isolated in 8 (26.67 %) samples. Among the Gram-negative bacteria isolated from combat wounds, non-fermenting rods predominated and were identified in 14 (46.67 %) samples, whereas microorganisms of the *Enterobacteriaceae* family were isolated in 8 (26.67 %) cases. Within the Gram-positive microbiota of gunshot wounds, cocci of the *Staphylococcus* genus were found in 5 (16.67 %) cases, and Gram-positive rods of the *Bacillus* genus were identified in 3 (10.00 %) samples. Bacteria belonging to the *ESKAPE* group were detected in 19 (48.72 %) cases. Significantly poorer clinical outcomes of PMMA bone cement application were observed in patients with gunshot injuries contaminated by Gram-negative

microflora ( $\tau = -0.48$ ,  $p = 0.0002$ ), *Enterobacteriaceae* ( $\tau = -0.28$ ,  $p = 0.03$ ), *Klebsiella spp.* ( $\tau = -0.28$ ,  $p = 0.03$ ), and *ESKAPE* pathogens ( $\tau = -0.44$ ,  $p = 0.0006$ ). In contrast, significantly better clinical outcomes were achieved in patients with gunshot wounds colonized by Gram-positive flora ( $\tau = +0.48$ ,  $p = 0.0002$ ), *Staphylococcus spp.* ( $\tau = +0.32$ ,  $p = 0.01$ ), and *Bacillus spp.* ( $\tau = +0.31$ ,  $p = 0.02$ ). Analysis of the prognostic value of the examined factors demonstrated higher odds of achieving excellent outcomes with PMMA bone cement use in patients whose wounds contained Gram-positive microorganisms (OR=7.50, CI (1.15-48.97),  $p = 0.02$ ). Conversely, the presence of *ESKAPE* pathogens in wound samples was associated with increased odds of only satisfactory outcomes (OR=2.79, CI (1.35-13.35),  $p = 0.003$ ). The obtained data emphasize the necessity of a comprehensive approach to managing patients with gunshot fractures and bone tissue defects, which should include not only the use of bone substitutes but also mandatory bacteriological diagnostics and targeted antibiotic therapy considering the specific microbial pathogens, highlighting the importance of integrating microbiological monitoring into surgical protocols for improved outcomes.

**Keywords:** bone defects, gunshot fractures, combat injury, bacterial wound contamination, prognosis.

**Conflict of interest:** absent.

Стаття надійшла в редакцію 20.10.2025 р.  
Стаття прийнята до друку 12.12.2025 р.