ISSN print 2414-4517, ISSN online 2710-1487, https://ecm.knmu.edu.ua, ecm.journal@knmu.edu.ua

УДК: 616.1; 617.58; 615.849.1

ФОТОДИНАМІЧНА ТЕРАПІЯ У ЛІКУВАННІ ПАЦІЄНТІВ ІЗ ВОГНЕПАЛЬНИМИ ПОРАНЕННЯМИ М'ЯКИХ ТКАНИН КІНЦІВОК

Поліков Г.О.

Харківський національний медичний університет, Харків, Україна

Актуальність. Вогнепальні поранення м'яких тканин залишаються провідною проблемою сучасної хірургії. Мікробіологічний профіль характеризується полімікробністю (≈50 % випадків) з переважанням грам-негативної флори (≈80 %). Зростання антимікробної резистентності обмежує ефективність традиційного підходу в лікуванні вогнепальних ран.

Мета. Оцінити клінічну ефективність фотодинамічної терапії при місцевому лікуванні вогнепальних ран м'яких тканин.

Матеріали та методи. Проведено нерандомізоване порівняльне дослідження за участю 40 пацієнтів із вогнепальними осколковими пораненнями м'яких тканин кінцівок. Пацієнтів розподілено на дві групи: основну, до якої увійшли 20 пацієнтів, яким проводили фотодинамічну терапію, та групу порівняння, 20 пацієнтів якої отримували стандартне лікування. Ефективність лікування оцінювали за динамікою площі рани, швидкістю загоєння, рівнем мікробної контамінації, частотою ускладнень та тривалістю госпіталізації. Статистичну обробку даних проводили з використанням програмного забезпечення Epi Info 8.0 (CDC, США). Дослідження виконано в межах науково-дослідної теми з номером державної реєстрації 0124U002908 та дисертації автора.

Етика дослідження. Дослідження проведено із дотриманням положень Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації (1964–2024). Всі пацієнти підписали інформовану згоду на лікування. Дизайн та методи схвалені етичною комісією Харківського національного медичного університету (протокол № 2 від 12.10.2022).

Результати. Застосування фотодинамічної терапії сприяло швидкому зниженню мікробного навантаження: на 5-ту добу рівень контамінації становив [10^2–10^3] КУО/мл у 70 % пацієнтів основної групи проти 15 % у групі порівняння ($p<0,01$). Виявлено більш інтенсивне зменшення площі рани: на 7-му добу – [48±4] мм² у пацієнтів основної групи проти [57±6] мм² пацієнтів групи порівняння ($p<0,01$). Терміни остаточного закриття ран в основній групі становили [15,2±2,3] доби проти [18,4±3,1] доби ($p<0,05$). Тривалість стаціонарного лікування була в основній групі [16,5±1,8] доби проти [19,2±2,1] доби відповідно ($p<0,05$).

Висновки. Отримані результати свідчать про ефективність фотодинамічної терапії. Антимікробний ефект поєднується зі стимуляцією репаративних процесів, що забезпечує швидше очищення та загоєння ран. Фотодинамічна терапія ефективно знижує мікробне навантаження у рані та прискорює перебіг репаративних процесів. Її застосування дозволяє скоротити терміни підготовки ран до хірургічного закриття та зменшити частоту післяопераційних ускладнень.

Ключові слова: *хірургія, фотомодуляція, загоєння ран, бойова травма.*

Відповідальний автор: Поліков Г.О.
✉ 4, пр. Науки, м. Харків,
61022, Україна.
E-mail: g.polikov8@gmail.com

Corresponding author: Polikov H.O.
✉ 4, Nauky Ave., Kharkiv,
61022, Ukraine.
E-mail: g.polikov8@gmail.com

© Поліков Г.О., 2026 CC BY-NC-SA © Polikov H.O., 2026

ISSN print 2414-4517, ISSN online 2710-1487, https://ecm.knmu.edu.ua, ecm.journal@knmu.edu.ua

Цитуйте українською: Поліков ГО.
Фотодинамічна терапія у лікуванні пацієнтів із вогнепальними пораненнями м'яких тканин кінцівок.
Експериментальна і клінічна медицина. 2026;95(1):7-16.
https://doi.org/10.35339/ekm.2026.95.1.pho

Cite in English: Polikov HO.
Photodynamic therapy in the treatment of patients with gunshot wounds of the extremities.
Experimental and Clinical Medicine. 2026;95(1):7-16.
https://doi.org/10.35339/ekm.2026.95.1.pho [in Ukrainian].

Вступ

Щорічно у світі реєструється понад 1 мільйон випадків травм, спричинених вогнепальною зброєю, що створює суттєве навантаження на системи охорони здоров'я та має довготривалі медико-соціальні наслідки [1].

Патогенез бойової травми є складним багатофакторним процесом, що обумовлений поєднанням механічного ушкодження тканин, порушень мікроциркуляції, метаболічних розладів та інфекційного компонента. Особливістю поранень м'яких тканин є формування не лише первинної зони ушкодження, але й зони вторинних змін, яка виникає внаслідок порушення мікроциркуляції та розвитку тканинної гіпоксії. Процес загоєння ран забезпечується взаємодією різних типів клітин (фібробластів, епітеліоцитів, ендотеліоцитів, макрофагів) та медіаторів запалення (цитокінів, факторів росту). Ключові молекули, що регулюють репарацію, включають: фактор росту тромбоцитів, епідермальний фактор росту, судинний ендотеліальний фактор росту, трансформуючий фактор росту бета [2; 3]. Водночас при інфікованих та контамінованих ранах ці процеси порушуються внаслідок персистенції мікробної флори, утворення біоплівок та підтримки хронічного запалення. Фотодинамічна терапія поєднує антимікробний ефект із потенційною модуляцією запальної відповіді та стимуляцією репаративних процесів. Експериментальні дослідження свідчать про модуляцію активності імунних клітин, зокрема макрофагів, а також вплив на ангіогенез і сигнальні шляхи факторів росту, зокрема судинний ендотеліальний фактор росту, що сприяє мікроциркуляції та регенерації тканин [4].

Ведення пацієнтів із вогнепальними пораненнями м'яких тканин є кропітким, тривалим та ресурсозатратним процесом. Бойові поранення завжди мають високий ризик інфекцій через контамінацію ран, затримку евакуації та тривалу госпіталізацію. За даними сучасних українських досліджень, мікробіологічний профіль таких ран характеризується вираженою полімікробністю: асоціації двох і більше збудників виявляються приблизно у 49,5 % випадків, при цьому два ізоляти – у 34,0 %, три – у 12,7 % спостережень. У структурі збудників переважає грам-негативна флора (80,2 %), серед якої домінують *Klebsiella pneumoniae* (22,8 %), *Acinetobacter baumannii* (20,0 %) та *Pseudomonas aeruginos*a (13,6 %), тоді як грам-позитивні мікроорганізми становлять близько 19,8 % [5].

При рутинному використанні антимікробної терапії розвивається резистентність. За даними Європейської мережі нагляду (European Antimicrobial Resistance Surveillance Network) за (2021–2023) [6] та Центру громадського здоров'я МОЗ України підвищилася резистентність бактерій до антибактеріальних препаратів [7].

Загоєння ран залишається клінічною проблемою, а бактеріальна інфекція є поширеним ускладненням, яке може значно уповільнити цей процес. Кількість мультирезистентних штамів бактерій зростає щодня в усьому світі, тому необхідно створювати нові стратегії, які можуть контролювати інфекцію та одночасно стимулювати загоєння ран. Нещодавно у дослідженні Yang Z. et al. (2021) було продемонстровано здатність фотодинамічної терапії прискорювати загоєння ран, тоді як у роботі Ning X. et al. (2022) узагальнено її позитивний вплив на репаративні процеси [8; 9].

ISSN print 2414-4517, ISSN online 2710-1487, https://ecm.knmu.edu.ua, ecm.journal@knmu.edu.ua

Фотодинамічна терапія (ФДТ) є одним із провідних методів лікування на основі фотосенсибілізаторів. Її розвиток базується на використанні взаємодії світла, фоточутливих речовин та кисню, що призводить до утворення реактивних форм кисню та селективного ушкодження клітин. На сьогодні ФДТ широко застосовується в онкології, дерматології та лікуванні інфекційних процесів, демонструючи високу ефективність і безпеку [10]. На сьогодні до схвалених показань ФДТ відносяться: актинічний кератоз, хвороба Боуена (плоскоклітинна карцинома in situ) і базальноклітинна карцинома. В останні роки зростає інтерес до протиінфекційної дії ФДТ. Її пропонують як терапію для лікування бактеріальних, грибкових і вірусних інфекцій з метою елімінації мікроорганізмів, тому вона описується як антимікробна ФДТ або фотодинамічна інактивація. Антимікробний ефект фотодинамічної терапії реалізується за рахунок генерації реактивних форм кисню, що забезпечує інактивацію мікроорганізмів та руйнування біоплівок [11]. Водночас за даними сучасних досліджень, ФДТ здатна модулювати запальну відповідь та стимулювати репаративні процеси [9].

За даними Іванова Ю.В. та співавт. (2023), а також Михайлюсова Р.М. та ін. (2019), фотодинамічна терапія, застосована у лікуванні пацієнтів із бойовими пораненнями м'яких тканин, сприяє швидкій інактивації патогенів, зменшенню набряку і больового синдрому, а також стимуляції формування грануляційної тканини, що прискорює закриття ран [12; 13].

Незважаючи на отримані обнадійливі результати, ефективність фотодинамічної терапії при лікуванні вогнепальних поранень потребує подальшого клінічного дослідження.

Метою дослідження була оцінка клінічної ефективності фотодинамічної терапії при місцевому лікуванні вогнепальних ран м'яких тканин.

Матеріали та методи

Проведено проспективне нерандомізоване порівняльне клінічне дослідження у період 2022–2024 рр. на базі Комунального підприємства «Близнюківська центральна районна лікарня» (Харківська область, Україна). У дослідження включено 40 пацієнтів віком від 19 до 57 років із вогнепальними осколковими пораненнями м'яких тканин кінцівок. До дослідження включили пацієнтів із великими рановими дефектами м'яких тканин, які визначали як рани з лінійним розміром понад 10 см, площею понад 50 см² та об'ємом понад 125 см³. За типом ушкодження рани були осколковими, а за характером поділялися на сліпі, наскрізні та дотичні.

Усі пацієнти проходили стандартне клінічне обстеження відповідно до чинних протоколів надання хірургічної допомоги. Дані заносилися до електронної бази даних. Терміни госпіталізації з моменту поранення становили від 6 годин до 2 діб.

Критеріями включення були: великі вогнепальні рани м'яких тканин кінцівок; наявність однієї і більше ран; необхідність повторних хірургічних втручань.

Критеріями виключення були: поєднані поранення голови, грудей чи живота; термінальна або незворотна стадія шоку; рівень свідомості ≤8 балів за шкалою коми Глазго (Glasgow Coma Scale, GCS); відмова від участі у дослідженні.

Загальна кількість балів за шкалою коми Глазго може становити від 3 до 15. Бали нараховуються окремо за три категорії: відкривання очей (від 1 до 4 балів), вербальна відповідь (від 1 до 5 балів) та моторна відповідь (від 1 до 6 балів). Чим вищий загальний бал, тим кращий рівень свідомості. Результат у діапазоні 13–15 балів свідчить про легке ураження головного мозку, результат 9–12 балів – про середнє ураження, а результат 8 балів або нижче відповідає тяжкому ураженню.

Залежно від застосованої лікувальної тактики пацієнтів було розділено на дві групи. Розподіл пацієнтів на групи здійснювався не випадковим чином, а залежно від застосованої лікувальної тактики та доступності фотодинамічної терапії у відповідний період. До основної групи увійшли 20 пацієнтів, яким проводили повторну

ISSN print 2414-4517, ISSN online 2710-1487, https://ecm.knmu.edu.ua, ecm.journal@knmu.edu.ua

хірургічну обробку рани (дебридмент), фотодинамічну терапію, симптоматичну терапію. До групи порівняння увійшли 20 пацієнтів, яким проводили повторну хірургічну обробку рани (дебридмент), місцеву антисептичну терапію (розчини хлоргексидину, повідон-йоду), перев'язки з використанням сучасних ранових покриттів, а також системну антибактеріальну терапію (β-лактами, цефалоспорини, за показаннями – фторхінолони, аміноглікозиди) з подальшою корекцією відповідно до результатів мікробіологічного дослідження та антибіотикограми, симптоматичну терапію. Таким чином, основною відмінністю між групами було застосування фотодинамічної терапії у пацієнтів основної групи.

На первинному етапі всім пацієнтам виконували первинну хірургічну обробку ран. Антибактеріальну профілактику проводили відповідно до локального протоколу (цефалоспорини I покоління або напівсинтетичні пеніциліни).

У пацієнтів основної групи додатково застосовували фотодинамічну терапію. Для фотосенсибілізації використовували 6 % гель 5-амінолевулінової кислоти. Після 2-годинної темнової експозиції проводили опромінення фотонними матрицями «Барва-Флекс/24ФМ» (розроблені Коробовим А.М. та співавт., Україна) з довжиною хвилі 660 нм та піковою інтенсивністю випромінювання 80 мВт/см². Тривалість одного сеансу становила 10 хв, що відповідало енергетичній дозі в середньому 48 Дж/см² за процедуру. Фотодинамічну терапію проводили 1 раз на добу. Курс лікування включав у середньому 6 процедур, до появи клінічних ознак очищення рани та формування активної грануляційної тканини.

Безпосередні результати лікування оцінювали за такими показниками: динаміка площі рани – планіметрія (фотофіксацію ран проводили на 0, 3, 7, 14 та 21-шу добу з використанням цифрової камери зі стандартизованої відстані та з включенням вимірювальної шкали). Площу рани визначали методом цифрової планіметрії шляхом контурного обведення меж ранового дефекту на отриманих зображеннях з подальшим розрахунком площі за допомогою комп'ютерної програми аналізу зображень ImageJ 1.53 (National Institutes of Health, США); швидкість загоєння; тривалість стаціонарного лікування; розвиток місцевих ускладнень. Лабораторний моніторинг включав загальний аналіз крові та біохімічні показники відповідно до стандартів клінічного спостереження.

Мікробіологічний аналіз ранового вмісту проводили на 1, 3 та 5-ту добу. Посіви виконували на стандартні поживні середовища з подальшою ідентифікацією мікроорганізмів за морфологічними, культуральними та біохімічними властивостями. Фенотипову ідентифікацію здійснювали за допомогою автоматизованої системи VITEK 2 Compact (bioMérieux, Франція). Визначали якісний склад мікрофлори (види мікроорганізмів) та кількісний склад у вигляді колонієутворюючих одиниць на мл (КУО/мл).

Статистичну обробку даних проводили з використанням програмного забезпечення Epi Info 8.0 (CDC, США). Кількісні показники представлено у вигляді середнього значення, стандартного відхилення (M±SD) або медіани та міжквартильного інтервалу залежно від характеру розподілу. Для порівняння незалежних груп використовували U-критерій Манна–Уїтні. Категоріальні змінні аналізували за допомогою критерію χ^2. Різницю вважали статистично значущою при $p<0,05$.

Етика дослідження

Дослідження проведено із дотриманням положень Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації (1964–2024). Всі пацієнти підписали інформовану згоду на лікування. Дизайн та методи схвалені етичною комісією Харківського національного медичного університету (протокол № 2 від 12 жовтня 2022 року).

Результати

Пацієнти основної групи та групи порівняння були співставні за віком. У віковій структурі обох груп переважали пацієнти віком 30–40 років: 40 % в основній групі та 35 % у контрольній. Частка пацієнтів

ISSN print 2414-4517, ISSN online 2710-1487, https://ecm.knmu.edu.ua, ecm.journal@knmu.edu.ua

віком до 30 років становила відповідно 25 % та 30 %, у віці 40–50 років – 20 % та 15 %, а старше 50 років – 15 % та 20 %. Статистично значущих відмінностей між групами за віковим складом не виявлено ($p>0,05$).

За термінами надходження до лікувального закладу пацієнти були розподілені наступним чином: до 6 годин від моменту поранення госпіталізовано 4 пацієнтів (10 %), від 6 до 12 годин – 6 пацієнтів (15 %), від 12 до 24 годин – 4 пацієнтів (10 %), понад 24 години – 26 пацієнтів (65 %). Розподіл пацієнтів за термінами надходження був співставним у основній та контрольній групах ($\chi^2=0,418$; $p=0,981$), що свідчить про однорідність вибірки за даним показником. Переважання пацієнтів, госпіталізованих у терміни понад 24 години від моменту поранення (65 %), зумовлене особливостями етапності надання медичної допомоги в умовах бойових дій, зокрема затримками евакуації, логістичними обмеженнями та необхідністю стабілізації поранених на догоспітальному та ранньому госпітальному етапах.

Серед досліджуваних пацієнтів за типом ушкодження були тільки осколкові поранення м'яких тканин кінцівок. За характером поранення розподіл був наступним: сліпі поранення спостерігалися у 28 пацієнтів (70,0 %) – у 13 пацієнтів (65,0 %) групи порівняння та у 15 пацієнтів (75,0 %) основної групи; дотичні – у 6 пацієнтів (15,0 %): у 4 (20,0 %) у групі порівняння та у 2 (10,0 %) – в основній; наскрізні – у 6 пацієнтів (15,0 %) – по 3 пацієнти (15,0 %) у кожній групі. Статистично значущих відмінностей між групами за характером поранення не виявлено ($\chi^2=0,013$; $p=0,994$), що свідчить про їх співставність за даним показником.

Усі включені у дослідження пацієнти відповідали критеріям великих ранових дефектів м'яких тканин. Зокрема, у всіх випадках лінійний розмір рани перевищував 10 см, площа – 50 см², а об'єм – 125 см³. Середні значення площі ранового дефекту на момент первинного обстеження становили [58,4±12,6] см² в основній групі та [60,1±14,2] см² у групі порівняння ($p>0,05$). Середній об'єм ранових дефектів відповідно становив [132,5±28,4] см³ та [128,7±31,6] см³ ($p>0,05$), що свідчить про співставність груп за цими показниками.

Мікробіологічне дослідження ранового вмісту показало, що на початковому етапі в обох групах переважала змішана мікрофлора з домінуванням умовно-патогенних мікроорганізмів. Найчастіше виділялися *Staphylococcus epidermidis* – у 12 із 20 пацієнтів (60,0 %) основної групи та у 12 із 20 (60,0 %) групи порівняння; *Staphylococcus aureus* – відповідно у 8 (40,0 %) та 8 (40,0 %) пацієнтів. Серед грам-негативної флори представники родини: *Enterobacteriaceae* виявлялися у 5 пацієнтів (25,0 %) основної групи та 5 (25,0 %) у групи порівняння; *Escherichia coli* – у 3 (15,0 %) і 3 (15,0 %); *Klebsiella spp.* – у 2 (10,0 %) та 2 (10,0 %) відповідно. *Pseudomonas aeruginosa* висівали у 2 (10,0 %) пацієнтів основної групи та у 2 (10,0 %) групи порівняння.

Мікробіологічне дослідження ранового вмісту показало, що на початковому етапі в обох групах переважала змішана мікрофлора з домінуванням умовно-патогенних мікроорганізмів на тлі високого рівня мікробної контамінації. Середній рівень бактеріального забруднення ран становив [10^5–10^6] КУО/мл як у більшості пацієнтів основної групи – у 18 із 20 (90,0 %), так і в групі порівняння ($p>0,05$). Статистично значущих відмінностей як у рівні мікробної контамінації, так і у видовому складі мікрофлори між групами на початку лікування не виявлено ($p>0,05$), що свідчить про їх порівнянність перед початком терапії.

У процесі лікування у пацієнтів основної групи спостерігалося більш швидке зниження мікробного навантаження, ніж у групі порівняння. На 5-ту добу рівень мікробної контамінації в основній групі: [10^2–10^3] КУО/мл визначався у 14 пацієнтів (70,0 %); 10^4 КУО/мл – у 4 (20,0 %); $\geq 10^5$ КУО/мл – у 2 (10,0 %). У групі порівняння відповідні показники становили: [10^2–10^3] КУО/мл – у 3 пацієнтів (15,0 %), [10^4–10^5] КУО/мл – у 11 (55,0 %), $\geq 10^5$ КУО/мл – у 6 (30,0 %).

ISSN print 2414-4517, ISSN online 2710-1487, https://ecm.knmu.edu.ua, ecm.journal@knmu.edu.ua

Середній рівень бактеріальної контамінації на 5-ту добу становив [10^2–10^3] КУО/мл в основній групі проти [10^4–10^5] КУО/мл у групі порівняння, що було статистично значущим ($p<0,01$).

Елімінація грам-негативної флори на 5-ту добу спостерігалася у 4 із 5 пацієнтів (80,0 %) основної групи та у 2 із 5 (40,0 %) групи порівняння. Зниження мікробного навантаження достовірно корелювало з прискоренням очищення ран, зменшенням запальної реакції та більш раннім формуванням грануляційної тканини.

У групі пацієнтів, де застосовувалася фотодинамічна терапія, спостерігалася краща динаміка зменшення площі рани порівняно з контрольною групою. На 7-му добу спостереження площа рани в основній групі була достовірно меншою ніж у групі порівняння – [48±4] см² проти [57±6] см² відповідно ($p<0,05$). На 14-ту добу площа рани в основній групі становила [32±3] см², тоді як у групі порівняння – [45±5] см² ($p<0,05$). Отримані результати свідчать про позитивний вплив фотодинамічної терапії на прискорення репаративних процесів (*рисунок*).

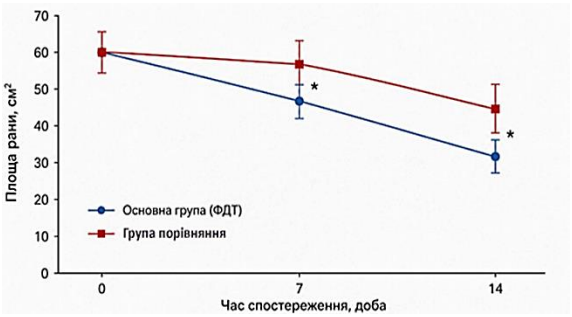


Рис. Динаміка загоєння ран основній групі та групі порівняння залежно від методу лікування
Примітка:
** – відмінності статистично достовірні порівняно з групою Б ($p<0,05$);*
ФДТ – фотодинамічна терапія.

Остаточне закриття ран у пацієнтів обох груп переважно досягалося шляхом накладання вторинних швів, локально-ротаційної пластики шкіри або аутодермопластики розщепленим шкірним клаптем. При цьому у пацієнтів основної групи хірургічне закриття ран виконувалося дещо раніше порівняно з групою порівняння. У середньому терміни остаточного закриття ран становили [15,2±2,3] доби в основній групі та [18,4±3,1] доби у групі порівняння ($p<0,05$).

У післяопераційному періоді в основній групі клінічно значуще ускладнення у вигляді сероми післяопераційної рани розвинулося у 1 пацієнта, тоді як в групі порівняння було відмічено розвиток сероми у 2 пацієнтів сткового лізису шкірного клаптя у 1 пацієнта.

Дещо пізніші терміни виконання остаточного закриття ран у групі порівняння були зумовлені повільнішим очищенням ранової поверхні, збереженням високого мікробного навантаження та більш тривалим перебігом запального процесу. Натомість у пацієнтів основної групи застосування фотодинамічної терапії сприяло підготовці ран до хірургічного закриття, що супроводжувалося меншою частотою післяопераційних ускладнень.

Тривалість стаціонарного лікування у пацієнтів основної групи була дещо меншою порівняно з групою порівняння і становила в середньому [16,5±1,8] доби проти [19,2±2,1] доби відповідно ($p<0,05$). Скорочення термінів госпіталізації у пацієнтів, яким застосовувалась фотодинамічна терапія, було зумовлене більш швидким очищенням ран, зниженням мікробного навантаження та активнішим формуванням грануляційної тканини.

Обговорення результатів

Отримані результати свідчать про позитивний вплив фотодинамічної терапії на перебіг ранового процесу у пацієнтів із вогнепальними пораненнями м'яких тканин. Встановлено, що застосування фотодинамічної терапії супроводжується більш швидким зниженням мікробного навантаження, що узгоджується з даними Іванової Ю.В. та ін. (2023) [10], де показано досягнення ерадикації мікрофлори вже на 4–5-ту добу лікування та суттєве зниження бактеріальної контамінації ран.

У нашому дослідженні також відзначено значне зниження мікробного навантаження, однак рівень [10^2–10^3] КУО/мл на 5-ту добу досягнуто у 70 % пацієнтів, що може свідчити про більшу гетерогенність

ISSN print 2414-4517, ISSN online 2710-1487, https://ecm.knmu.edu.ua, ecm.journal@knmu.edu.ua

вибірки та тяжчий характер ранового процесу. Водночас, на відміну від дослідження Іванової Ю.В. та ін., де застосовувалась комбінована терапія (негативний тиск, фотодинамічна терапія, пластичні методи закриття ран), у нашій роботі акцент зроблено на оцінці ізольованого впливу фотодинамічної терапії, що могло вплинути на швидкість ерадикації мікрофлори та терміни закриття ран.

Подібні результати отримані також у дослідженні Михайлюсова Р.Н. та ін. (2019) [8], де застосування фотодинамічної терапії сприяло більш швидкому регресу запального процесу, очищенню ран та стимуляції формування грануляційної тканини. Зокрема, у зазначеній роботі показано скорочення термінів очищення ран ([4,7±0,6] доби в основній групі проти [7,3±0,8] доби у групі порівняння) та початку грануляцій ([4,6±0,5] доби проти [7,8±0,6] доби відповідно), що корелює з отриманими нами клінічними спостереженнями. При цьому, у дослідженні Михайлюсова Р.Н. та ін. основний акцент зроблено на клінічних показниках перебігу ранового процесу без детального кількісного аналізу мікробної контамінації, тоді як у нашій роботі проведено динамічну оцінку рівня бактеріального обсіменіння, що дозволяє більш об'єктивно оцінити антимікробний ефект фотодинамічної терапії.

Зниження мікробного навантаження у поєднанні зі зменшенням запальної реакції створювало сприятливі умови для формування грануляційної тканини, що проявлялося пришвидшенням зменшення площі рани. Наші результати щодо зменшення площі ран вже на 7-му та на 14-ту добу узгоджуються з даними літератури, які вказують на стимулюючий вплив фотодинамічної терапії на репаративні процеси у тканинах.

Слід підкреслити, що, незважаючи на значну площу ранових дефектів і необхідність виконання пластичних втручань (локально-регіональна пластика та аутодермопластика) в обох групах, у пацієнтів, яким застосовувалась фотодинамічна терапія, спостерігалася менша частота післяопераційних ускладнень. Це узгоджується з даними Михайлюсова Р.Н. та ін. (2019) [8], які відзначають покращення якості загоєння ран і зменшення частоти ускладнень при використанні фотодинамічної терапії.

Наявність ускладнень в групі порівняння у вигляді сероми або часткового лізису трансплантата може бути пояснена збереженням вищого рівня мікробної контамінації та більш тривалим перебігом запального процесу, що відповідає сучасним уявленням про патогенез ранової інфекції.

Таким чином, отримані результати узгоджуються з даними сучасних досліджень і свідчать про клінічну ефективність фотодинамічної терапії при лікуванні вогнепальних поранень м'яких тканин. Її застосування сприяє прискоренню очищення ран, зниженню мікробного навантаження, скороченню термінів підготовки до хірургічного закриття та зменшенню частоти післяопераційних ускладнень. Водночас отримані дані свідчать, що використання фотодинамічної терапії як ізольованого методу забезпечує помірний клінічний ефект, тоді як її поєднання з іншими методами, зокрема терапією від'ємним тиском (VAC, Vacuum Assisted Closure), може потенціювати лікувальний вплив внаслідок одночасної дії на різні ланки ранового процесу – механічну деконтамінацію, покращення мікроциркуляції та стимуляцію репаративних процесів.

Обмеженням дослідження є відсутність рандомізації та сліпого маскування, що пов'язано з характером втручання (фотодинамічна терапія), а також відсутність попереднього розрахунку обсягу вибірки.

Висновки

1. Застосування фотодинамічної терапії в комплексному лікуванні вогнепальних поранень м'яких тканин сприяє достовірно більш швидкому зниженню мікробного навантаження, з досягненням рівня [10^2–10^3] КУО/мл у 70 % пацієнтів основної групи вже на 5-ту добу лікування.

2. Фотодинамічна терапія забезпечує інтенсивніший перебіг репаративних процесів, що проявляється швидшим зменшенням площі рани.

ISSN print 2414-4517, ISSN online 2710-1487, https://ecm.knmu.edu.ua, ecm.journal@knmu.edu.ua

3. Прискорення очищення ран та формування грануляційної тканини дозволяє виконувати остаточне хірургічне закриття (вторинні шви, локально-ротаційну пластику, аутодермопластику) у більш ранні терміни – [15,2±2,3] доби проти [18,4±3,1] доби ($p<0,05$).

4. Використання фотодинамічної терапії асоціюється зі зменшенням частоти післяопераційних ускладнень (сероми, часткового лізису трансплантату), що обумовлено кращою підготовкою ранової поверхні до остаточного закриття ранового дефекту.

Декларації

Конфлікт інтересів відсутній. Автор надав згоду на публікацію статті на умовах ліцензії Creative Commons BY-NC-SA 4.0 International License та публічного договору з редакцією, на обробку та публікацію його персональних даних.

Автор заявляє, що в процесі підготовки та редагування цього рукопису він не використовував жодних інструментів чи сервісів генеративного штучного інтелекту для виконання будь-яких завдань, перелічених у Таксономії делегування генеративного штучного інтелекту (GAIDeT, 2025). Усі етапи роботи (від розробки концепції дослідження до остаточного редагування) виконувалися особисто автором без залучення генеративного штучного інтелекту.

Фінансування та подяки

Дослідження проведено як частина дисертації автора «Хірургічне лікування вогнепальних поранень із використанням VAC-систем та фототерапії з урахуванням утворення біоплівок» (2022–2026) на кафедрі хірургії № 1 Харківського національного медичного університету. Тема затверджена Вченою радою Харківського національного медичного університету. Дослідження також є частиною науково-дослідної роботи кафедри хірургії № 1 Харківського національного медичного університету «Розробка діагностичних методів й відкритих та мініінвазивних технологій лікування захворювань та травм органів грудної та черевної порожнини, судин кінцівок у хворих у військовий час» (2024–2028), номер державної реєстрації 0124U002908.

Література

1. Fast Facts: Firearm Injury and Death. Centers for Disease Control and Prevention, 5 Jul 2024. [Internet]. Available at: https://www.cdc.gov/firearm-violence/data-research/facts-stats/index.html [accessed 20 Mar 2026].

2. Chandra P, Faizan M, Porwal M, Sharma H, Sachan N. An Overview and Review of Growth Factors in Wound Healing: Emerging Trends and Innovations. Curr Diabetes Rev. 2026;22(1):1-27. DOI: 10.2174/0115733998332692241202072249. PMID: 40444617.

3. Viaña-Mendieta P, Sánchez ML, Benavides J. Rational selection of bioactive principles for wound healing applications: Growth factors and antioxidants. Int Wound J. 2022;19(1):100-13. DOI: 10.1111/iwj.13602. PMID: 33951280.

4. Zhao H, Sun J, Yang Y. Research progress of photodynamic therapy in wound healing: a literature review. Journal of Burn Care & Research. 2023;44(6):1327-33. DOI: 10.1093/jbcr/irad146. PMID: 37747820.

5. Белей НА, Лоскутов ОА, Строкань АМ, Ізмайлова ОБ. Еволюція мікробіологічного пейзажу ранових інфекцій у військовослужбовців під час повномасштабного вторгнення росії (2022–2024 рр.): ретроспективне когортне дослідження. Медицина невідкладних станів. 2024;20(7):615-21. Доступно на: https://emergency-journal.com/index.php/journal/article/download/1767/1828/1541

6. European Centre for Disease Prevention and Control. Antimicrobial resistance in the EU/EEA (EARS-Net) – Annual Epidemiological Report 2023. Stockholm: ECDC; 2024. 51 p. Available at: https://surl.li/kzfkft

ISSN print 2414-4517, ISSN online 2710-1487, https://ecm.knmu.edu.ua, ecm.journal@knmu.edu.ua

7. Центр громадського здоров'я МОЗ України. Звіт за результатами проведення посиленого епідеміологічного нагляду за протимікробною резистентністю мікроорганізмів, що спричинюють гнійно-запальні інфекції ран у поранених внаслідок бойових дій за 2023–2024 роки. Київ; 2025. 78 с. Доступно на: https://is.gd/sznzPq

8. Yang Z, Hu X, Zhou L, He Y, Zhang X, Yang J, et al. Photodynamic therapy accelerates skin wound healing through promoting re-epithelialization. Burns Trauma. 2021;9:tkab008. DOI: 10.1093/burnst/tkab008. PMID: 34514005.

9. Ning X, He G, Zeng W, Xia Y. The photosensitizer-based therapies enhance the repairing of skin wounds. Front Med (Lausanne). 2022;9:915548. DOI: 10.3389/fmed.2022.915548. PMID: 36035433.

10. Aebisher D, Rogóż K, Myśliwiec A, Dynarowicz K, Wiench R, Cieślar G, et al. The use of photodynamic therapy in medical practice. Front Oncol. 2024;14:1373263. DOI: 10.3389/fonc.2024.1373263. PMID: 38803535.

11. Qi M, Chi M, Sun X, Xie X, Weir MD, Oates TW, et al. Novel nanomaterial-based antibacterial photodynamic therapies to combat oral bacterial biofilms and infectious diseases. Int J Nanomedicine. 2019;14:6937-56. DOI: 10.2147/IJN.S212807. PMID: 31695368.

12. Михайлюсов РМ, Негодуйко ВВ, Велігоцький АМ, Ромаєв СМ, Свириденко ЛЮ. Фотодинамічна терапія в лікуванні вогнепальних поранень м'яких тканин. Фотобіологія та фотомедицина. 2019;(28):31-8. DOI: 10.26565/2076-0612-2019-28-04.

13. Іванова ЮВ, Граматюк СМ, Криворучко ІА, Прасол ВО, М'ясоєдов КВ. Фотодинамічна терапія у лікуванні бойової травми. Український журнал клінічної хірургії. 2023;90(4):25-30. DOI: 10.26779/2786-832X.2023.4.25.

Polikov H.O.

PHOTODYNAMIC THERAPY IN THE TREATMENT OF PATIENTS WITH GUNSHOT WOUNDS OF THE EXTREMITIES

Background. Gunshot wounds of soft tissues remain a major challenge in modern surgery. Their microbiological profile is characterized by polymicrobial contamination (≈50% of cases) with a predominance of Gram-negative flora (≈80%). The increasing antimicrobial resistance limits the effectiveness of conventional treatment approaches for gunshot wounds.

Aim. To evaluate the clinical efficacy of photodynamic therapy in the local treatment of gunshot soft tissue wounds.

Materials and Methods. A non-randomized comparative study was conducted involving 40 patients with combat fragmentation wounds of the soft tissues of the extremities. Patients were divided into two groups: the main group (n=20), treated with photodynamic therapy, and the comparison group (n=20), receiving standard treatment. Treatment effectiveness was assessed based on wound area dynamics, healing rate, level of microbial contamination, complication rate, and duration of hospitalization. Statistical analysis was performed using Epi Info 8.0 software (CDC, USA). The study was conducted within the framework of the research project with state registration number 0124U002908 and the author's dissertation.

Research Ethics. The study was conducted in accordance with the principles of the World Medical Association Declaration of Helsinki (1964–2024). Written informed consent was obtained from all patients. The study design and methods were approved by the Ethics Committee of Kharkiv National Medical University (Protocol No.2 of October 12, 2022).

Results. The use of photodynamic therapy resulted in a rapid reduction of microbial load: on day 5, contamination levels were [10^2–10^3] CFU/mL in 70% of patients in the main group versus 15% in the comparison group ($p<0.01$). A more pronounced reduction in wound area

ISSN print 2414-4517, ISSN online 2710-1487, https://ecm.knmu.edu.ua, ecm.journal@knmu.edu.ua

was observed: by day 14 – [55±3] mm² vs [75±5] mm² ($p<0.01$). The time to complete wound closure was [16.8±2.3] days in the main group compared to [18.4±3.1] days in the comparison group ($p<0.05$). The duration of hospital stay was shorter in the main group [16.5±1.8] days vs [19.2±2.1] days ($p<0.05$).

Conclusions. The obtained results indicate the effectiveness of photodynamic therapy. Its antimicrobial effect is combined with stimulation of reparative processes, leading to faster wound cleansing and healing. Photodynamic therapy effectively reduces microbial load in wounds and accelerates reparative processes. Its use shortens the time required for wound preparation for surgical closure and reduces the incidence of postoperative complications.

Keywords: *surgery, photomodulation, wound healing, combat trauma.*

Надійшла 14.12.2025
Прийнята до публікації 29.03.2026
Опублікована 31.03.2026

Відомості про автора

Поліков Георгій Олегович – аспірант кафедри хірургії № 1, Харківський національний медичний університет, Україна.

Поштова адреса: ХНМУ, 4, пр. Науки, м. Харків, 61022, Україна.
E-mail: g.polikov8@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9232-4667.