

Взаємодія етапів Role 2 та Role 3 у збереженні реконструктивного потенціалу при пораненнях м'яких тканин кінцівок

Ю. О. Міхеєв^{1,2,A,F}, Р. М. Кузів^{2,A,F}, Д. В. Ткачук^{2,A,F}, І. М. Белкін^{2,A,B,C,F}, Б. М. Голдовський^{1,E,F},
Д. С. Мялковський^{2,B,C,F}, С. М. Мачуський^{2,D,E,F}

¹Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна; ²Запорізький військовий госпіталь, Україна

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті;
F – остаточне затвердження статті

Ключові слова:

бойова травма,
дефекти м'яких тканин,
реконструктивна
хірургія, Role 2, Role 3,
реконструкція кінцівок,
військова медицина.

Keywords:

combat extremity injury, soft
tissue defect, reconstructive
surgery, Role 2, Role 3,
wound bed preparation,
military medicine.

Надійшла до редакції /
Received: 26.01.2026

Після доопрацювання /
Revised: 17.03.2026

Схвалено до друку /
Accepted: 02.04.2026

Конфлікт інтересів:
відсутній.

Conflicts of interest:
authors have no conflict
of interest to declare.

Мета роботи – проаналізувати сучасні підходи до лікування дефектів м'яких тканин кінцівок у військових конфліктах та оцінити роль синергії між рівнями медичної допомоги Role 2 і Role 3 як ключового чинника ефективного функціонального закриття ран і збереження реконструктивного потенціалу.

Матеріали і методи. Здійснено систематизований пошук і критичний аналіз профільної наукової літератури, опублікованої передусім у період із 2021 до 2026 року. Пошук охоплював публікації, індексовані у провідних наукометричних базах та електронних ресурсах – PubMed, Google Scholar, Web of Science. До аналізу залучено джерела, у яких висвітлено досвід лікування бойових ушкоджень кінцівок, принципи етапності медичного забезпечення за стандартами НАТО, сучасні методи підготовки ранового ложа та технології реконструкції м'яких тканин у конфліктах на Близькому Сході, в Афганістані, Іраку та під час повномасштабної російсько-української війни.

Результати. Встановлено, що ключовими чинниками, які ускладнюють раннє закриття дефектів м'яких тканин, є інфекція та біоплівка, наявність девіталізованих тканин і недостатня підготовка ранового ложа. Показано, що агресивні хірургічні втручання на рівні Role 2, зокрема надмірний дебридмент і порушення судинної архітектури, можуть істотно обмежувати можливості застосування локальних і регіональних клаптів на Role 3. Натомість поетапний, щадний підхід зі збереженням анатомічних структур створює передумови для використання сучасних методів підготовки ранового ложа та ефективної реконструкції – від простих локальних клаптів до перфорантних чи вільних тканинних трансплантатів.

Висновки. Ефективне лікування дефектів м'яких тканин кінцівок у військових умовах можливе лише за умови тісної координації між Role 2 і Role 3 та чіткого розмежування їхніх завдань. Орієнтація на збереження реконструктивних опцій на ранніх етапах, застосування сучасних методів підготовки ранового ложа та поетапний вибір реконструктивних рішень дають змогу покращити функціональні результати та підвищити шанси повернення поранених до активного життя або служби.

Сучасні медичні технології. 2026. Т. 18, № 3(70). С. 191-199

Interaction between Role 2 and Role 3 echelons in preserving reconstructive potential in soft tissue limb injuries

Iu. O. Mikheiev, R. M. Kuziv, D. V. Tkachuk, I. M. Bielkin, B. M. Holdovskyi,
D. S. Mialkovskiy, S. M. Machuskyi

Aim. To analyze modern approaches to the treatment of soft tissue defects of the extremities in military conflicts and to evaluate the role of synergy between Role 2 and Role 3 medical care levels as a key factor in effective functional wound closure and preservation of reconstructive potential.

Materials and methods. A systematized search and critical analysis of relevant scientific literature published mainly between 2021 and 2026 was conducted. The search included publications indexed in major scientometric databases and electronic resources: PubMed, Google Scholar, and Web of Science. The analysis involved sources covering experience in treating combat extremity injuries, the principles of echeloned medical support according to NATO standards, modern methods of wound bed preparation, and soft tissue reconstruction technologies in conflicts in the Middle East, Afghanistan, Iraq, and during the full-scale Russo-Ukrainian War.

Results. It was established that the primary factors complicating early soft tissue defect closure are biofilm-associated infections, the presence of devitalized tissues ("gray zone" of ischemia), and insufficient wound bed preparation. It was demonstrated that aggressive surgical interventions at the Role 2 level, specifically excessive debridement and disruption of vascular architecture, can significantly limit the options for applying local and regional flaps at Role 3. Conversely, a staged, tissue-sparing approach that preserves anatomical structures creates the necessary conditions for utilizing advanced wound bed preparation methods and effective reconstruction, ranging from simple local flaps to perforator flaps and, where indicated, free tissue transfers.

Conclusions. Effective treatment of extremity soft tissue defects in military settings is only possible through close synergy between Role 2 and Role 3 and a clear delineation of their respective tasks. Focusing on the preservation of reconstructive options at the early stages, the application of modern wound bed preparation methods, and a staged approach to reconstructive decisions improve functional outcomes and increase the chances of returning the wounded to active life or military service.

Modern medical technology. 2026;18(3):191-199

Поранення кінцівок із дефектами м'яких тканин є однією з найпоширеніших форм бойової травми у сучасних збройних конфліктах. За даними аналізів військових операцій останніх десятиліть, від 55 % до 70 % усіх бойових поранень припадає саме на кінцівки, а значна частина з них супроводжується значними дефектами шкіри, підшкірної клітковини, фасцій і м'язів [1,2,3,4]. Домінування високоенергетичних вогнепальних і вибухових уражень зумовлює не лише значний обсяг первинного ушкодження, але й формування зони вторинного некрозу в таких ранах, що істотно ускладнює подальше лікування.

Дефекти м'яких тканин кінцівок часто стають причиною великої кількості повторних оперативних втручань і мають незадовільний кінцевий функціональний результат. Вони є однією з провідних причин тривалої втрати працездатності, інвалідизації та неможливості повернення військовослужбовців до активної служби або повноцінного життя [5,6]. Незважаючи на накопичений досвід військової хірургії, підходи до лікування таких ушкоджень у бойових умовах залишаються вкрай нестандартизованими. Досі бракує уніфікованих протоколів і вичерпних рекомендацій, які визначали б тактику, оптимальні терміни і послідовність лікувальних етапів.

Російсько-українська війна стала прикладом конфлікту, що спричинив суттєві зміни традиційного уявлення про інтенсивність бойових дій і характер санітарних втрат. Вирішальним чинником трансформації поля бою стало масове застосування дешевих і технологічно доступних безпілотних систем. Безпілотні літальні апарати домінують у системах розвідки та забезпечують постійну ситуаційну обізнаність, а FPV-дрони забезпечують високоточне точкове ураження. У результаті збільшилася частка вибухових ушкоджень, спричинених малими за масою, але високоенергетичними боеприпасами, які часто стають причиною великих і множинних дефектів м'яких тканин і кісток; крім того, визначають збільшення випадків уражень кінцівок, шиї та інших малозахищених анатомічних зон [7].

Особливої актуальності проблема лікування дефектів м'яких тканин набуває в контексті етапної системи медичного забезпечення, де допомогу надають послідовно на різних рівнях. Рішення, ухвалені на ранніх етапах, безпосередньо визначають подальші можливості реконструкції та функціональний прогноз. Недостатня координованість дій на Role 2 та Role 3 часто призводить до втрати реконструктивного потенціалу тканин, обмеження вибору хірургічних методів і погіршення кінцевих результатів лікування.

Мета роботи

Проаналізувати сучасні підходи до лікування дефектів м'яких тканин кінцівок у військових конфліктах та оцінити

роль синергії між рівнями медичної допомоги Role 2 і Role 3 як ключового чинника ефективного функціонального закриття ран і збереження реконструктивного потенціалу.

Матеріали і методи дослідження

Здійснили огляд наукових публікацій, присвячених лікуванню бойових ушкоджень м'яких тканин кінцівок у сучасних військових конфліктах, із дотриманням основних принципів PRISMA щодо ідентифікації та відбору літературних джерел. До аналізу включено передусім публікації за період з 2021 до 2026 року, що індексуються в базах даних PubMed, Scopus та Web of Science. Пошук профільної наукової літератури здійснили з використанням таких ключових слів та їх комбінацій: combat extremity injury, soft tissue defect, reconstructive surgery, Role 2, Role 3, forward surgical team, wound bed preparation, military trauma.

На першому етапі за результатами пошуку ідентифіковано 134 публікації. Після видалення дублікатів та аналізу заголовків відібрано 86 праць для подальшого вивчення анотацій. Основні критерії залучення – відповідність тематиці бойової травми кінцівок, висвітлення питань етапності надання медичної допомоги (Role 2, Role 3) та публікація у відповідний період (крім основоположних праць, необхідних для ґрунтовного вивчення порушеної проблеми). Як критерії виключення визначено опис тільки цивільної травми, невідповідність тематиці етапної військової медичної допомоги, відсутність повного тексту статті або невідповідність методологічним вимогам огляду. У результаті критичного аналізу до фінального огляду залучено 52 джерела, що дають змогу найповніше висвітлити сучасний стан проблеми та відповідають меті дослідження.

До огляду залучали систематичні та наративні огляди, клінічні серії, рекомендації військово-медичних служб та аналітичні публікації, що висвітлюють досвід різних театрів бойових дій (Близький Схід, Афганістан, Ірак, Україна). У зв'язку з гетерогенністю дизайнів досліджень формальне оцінювання ризику систематичних похибок не здійснювали.

Отримані дані узагальнено з акцентом на порівняльний аналіз завдань, ресурсів та обмежень Role 2 та Role 3 у лікуванні дефектів м'яких тканин кінцівок. Більшість включених до огляду досліджень відповідали рівням доказовості III–IV, що відображає об'єктивні обмеження хірургічних досліджень у бойових умовах; дані з високим рівнем доказовості (I–II) спорадичні, представлені переважно систематичними оглядами та консенсусними рекомендаціями. Рівні доказовості оцінювали якісно з використанням спрощеної класифікації Oxford.

Окремо проаналізовано сучасні інноваційні підходи до підготовки ранового ложа та реконструкції м'яких тканин із позицій їх потенційної адаптації до умов військових конфліктів.

Результати

Аналіз сучасних наукових джерел показав, що проблема лікування дефектів м'яких тканин кінцівок у військових умовах є надзвичайно складною і не може бути зведена до ізолюваного вибору хірургічної техніки чи техніки втручання на окремому етапі лікування. Ключовим чинником, що визначає кінцевий функціональний результат, є послідовність і узгодженість рішень, ухвалених на різних рівнях медичного забезпечення. Особливо це стосується початкових етапів надання допомоги, де закладається потенціал для подальшої підготовки ранового ложа та реконструкції. У цьому контексті аналіз ролі та обмежень Role 2 і Role 3 дає змогу виявити системні помилки, що повторюються в різних військових конфліктах, незалежно від географії чи рівня технологічного забезпечення.

Згідно з результатами дослідження, сучасні виклики бойової травми, зокрема зміна механізмів ураження, висока частота інфекційних ускладнень і складність ранового середовища, зумовлюють необхідність перегляду підходів до підготовки ранового ложа та вибору часу реконструкції. Розвиток інноваційних методів лікування розширює терапевтичні можливості, однак їхня ефективність прямо залежить від дотримання базових принципів етапності та збереження тканин. Наведені чинники формують підґрунтя для комплексного аналізу чотирьох ключових напрямів, наведених далі; кожен із них розкриває окремий аспект, але разом вони формують загальну концепцію лікування дефектів м'яких тканин кінцівок у сучасних військових конфліктах.

Етапні умови надання хірургічної допомоги при дефектах м'яких тканин кінцівок у сучасних військових конфліктах.

Сучасні військові конфлікти високої інтенсивності характеризуються значною кількістю поранень кінцівок із масивним ураженням м'яких тканин, що спричиняють суттєве навантаження на систему військово-медичного забезпечення. Успішність лікування таких поранень визначається не лише можливостями реконструктивної хірургії, але й значною мірою якістю первинних хірургічних рішень, ухвалених на ранніх етапах медичної евакуації.

Етапна система надання медичної допомоги (Role-based care), прийнята в країнах НАТО, чітко розмежовує завдання кожного рівня. Проте саме при лікуванні дефектів м'яких тканин кінцівок ці межі часто стають нечіткими, що може зумовити тактичні помилки. Досвід різних військових кампаній показав, що функціональне наповнення Role 2 та Role 3 істотно залежить від географії, тривалості конфлікту, логістики та рівня загрози. Так, у конфліктах на Близькому Сході, зокрема в Ізраїлі, короткі евакуаційні плечі давали змогу швидко транспортувати поранених до високоспеціалізованих центрів, що зменшувало тиск на Role 2 і обмежувало його роль переважно стабілізацією та damage control. Натомість у кампаніях США та коаліційних сил в Афганістані й Іраку, де евакуація могла тривати години, а іноді й доби, Forward Surgical Teams часто змушені були працювати в умовах тривалого утримання пацієнтів й ухвалювати складні рішення, коли не було можливості швидкого переведення на Role 3 [4].

Role 2, або Forward Surgical Team, функціонує в умовах, максимально наближених до зони бойових дій, і має на меті

порятунк життя, контроль загрозливих станів і стабілізацію пораненого перед евакуацією на наступні етапи [4]. Обмежені часові рамки, дефіцит персоналу та ресурсів, а також відсутність можливості тривалого післяопераційного спостереження визначають характер втручань на цьому рівні. У контексті ушкоджень м'яких тканин кінцівок на Role 2 вживають лише базових заходів, зокрема здійснюють контроль кровотечі, іригацію та дебридмент очевидно нежиттєздатних тканин для зниження інфекційного навантаження. Разом із тим, накопичений клінічний досвід різних конфліктів свідчить, що агресивна первинна хірургічна обробка, спрямована на максимальне «очищення» рани, не завжди є виправданою з позицій подальшої реконструкції [5,6].

Особливої уваги потребує збереження судинної архітектури тканин. Необґрунтоване пошкодження або перетин перфорантних судин, а також хаотичні або лінійні розрізи без урахування майбутніх реконструктивних опцій суттєво обмежують можливості застосування локальних і регіональних клаптів на наступних етапах лікування [8]. Аналіз досвіду військових операцій в Афганістані та Сирії дав змогу зробити висновок, що саме втрати перфорантів на ранньому етапі були однією з головних причин переходу від локальної реконструкції до більш травматичних методів на пізніших стадіях. У цьому контексті дедалі більшого поширення набуває підхід, за яким Role 2 не повинен намагатися остаточно вирішити проблему дефекту м'яких тканин. Навпаки, оптимальною стратегією є мінімально достатнє втручання, спрямоване на стабілізацію стану пораненого та максимальне збереження тканин. Принцип leave options open стає ключовим у сучасній військовій хірургії.

Досвід військових кампаній США та коаліційних сил в Афганістані продемонстрував, що розширення функцій Forward Surgical Teams за умов тривалого евакуаційного плеча часто супроводжувалося спробами «остаточного» вирішення проблеми дефекту м'яких тканин уже на рівні Role 2 [9]. У низці клінічних серій це призводило до надмірного висічення тканин і втрати перфорантів, що надалі обмежувало застосування локальних і перфорантних клаптів і підвищувало потребу у вільних мікросудинних трансферах на пізніших етапах [10]. Аналогічні закономірності описано щодо сирійського конфлікту: недостатньо чітка координація між рівнями допомоги спричиняла збільшення частоти ампутацій або складних реконструкцій із сумнівним функціональним результатом. У цьому контексті сучасні рекомендації наголошують на необхідності чіткого обмеження обсягу втручань на Role 2 принципами damage control та збереженням реконструктивних опцій для наступних етапів [9].

На відміну від Role 2, Role 3 представлений стаціонарними або напівстаціонарними військовими госпіталями зі значно ширшими діагностичними та лікувальними можливостями. Саме на цьому рівні формується стратегія остаточного лікування дефектів м'яких тканин кінцівок [11]. Наявність мультидисциплінарних команд, можливість серійних ревізій рани та доступ до сучасних методів підготовки ранового ложа (staged wound management) і перейти до зваженого планування реконструкції, враховуючи функціональні результати.

Таблиця 1. Ключові відмінності та клінічні завдання Role 2 і Role 3 при лікуванні дефектів м'яких тканин кінцівок

Критерій	Role 2 (Forward Surgical Team)	Role 3 (військовий госпіталь)
Основна мета	порятунок життя та кінцівки	остаточне закриття дефекту та відновлення функції
Часовий ресурс	обмежений (години)	тривалий (дні – тижні)
Підхід до дебридменту	щадний (економний): видалення лише явно нежиттєздатних тканин	радикальний та етапний: повне очищення «сірої зони», серійні ревізії рани
Інфекційний контроль	первинне зниження контамінації, системна антибіотикопрофілактика	антибіотикотерапія за показаннями; якщо доступно, – фаготерапія, антибіоплівкові антисептики
Тип реконструкції	зазвичай не виконують (принцип leave options open)	локальні, перфорантні, пропелерні та вільні клапті
Судинна стратегія	максимальне збереження перфорантів	використання збережених судин для клаптів
Інноваційні методи	обмежені або недоступні	біоматрикси, антибіоплівкові технології
Найчастіші тактичні помилки	надмірний дебридмент; хаотичні розрізи; передчасне накладання первинних швів та інші недоцільні розширення обсягу оперативних втручань	недооцінка «сірої зони»; ігнорування біоплівки; вибір занадто складної методики за наявності простішої

Досвід роботи коаліційних госпіталів у Іраку та Афганістані показав, що концентрація реконструктивних можливостей саме на Role 3 суттєво покращує результати лікування за умови правильних рішень на попередньому етапі.

Евакуаційний шлях пораненого у сучасних конфліктах часто варіабельний. Це спричиняє значні коливання часу між Role 2 та Role 3. Зауважимо, що часовий фактор не є синонімом готовності рани до реконструкції, а передчасні спроби «завершити» лікування дефекту на ранньому етапі можуть мати відстрочені негативні наслідки [12,13]. Аналіз клінічного досвіду показав: помилки, яких припустилися на Role 2, нерідко виявляють лише на Role 3, коли вибір реконструктивних методів стає обмеженим або визначають погіршення функціонального прогнозу.

Отже, Role 2 та Role 3 слід аналізувати не як ізольовані рівні, а як взаємопов'язані елементи єдиної безперервної системи медичної допомоги, незалежно від географії чи типу конфлікту. Ключові відмінності у стратегіях та конкретні клінічні завдання для кожного з цих етапів систематизовано в таблиці 1.

Синергія вжитих заходів, що ґрунтується на спільному розумінні кінцевої мети лікування та чіткому розмежуванні завдань кожного етапу, є ключовою умовою успішного функціонального закриття дефектів м'яких тканин кінцівок у військових умовах.

Патогенетичні та клінічні чинники, що ускладнюють раннє закриття дефектів м'яких тканин кінцівок. Незважаючи на суттєвий прогрес у військовій хірургії та розвиток системи етапного медичного забезпечення, раннє функціональне закриття дефектів м'яких тканин кінцівок у поранених залишається складною клінічною проблемою. У більшості випадків неможливість ранньої реконструкції зумовлена поєднанням патофізіологічних механізмів, що формуються і безпосередньо в момент травми, і протягом перших діб і тижнів лікування. Ці чинники не діють ізольовано, а формують хибне коло, у якому інфекція, тканинна ішемія та порушення регенерації посилюють одне одного [14,15,16].

Одна з ключових причин затримки закриття ран – інфекційний процес. Бойові поранення принципово відрізняються

від цивільної травми за ступенем і характером контамінації. Високоенергетичні вибухові та вогнепальні ураження супроводжуються потраплянням в рану сторонніх тіл, ґрунту, часток одягу, металу та біологічних матеріалів, що створює сприятливі умови для полімікробної інфекції. Досвід сучасних конфліктів показав, що вже на ранніх етапах у таких ранах часто виявляють грамнегативні збудники з високим рівнем антибіотикорезистентності; це значно ускладнює контроль інфекції стандартними методами [17,18,19,20].

Порівняння мікробіологічних характеристик бойових ран у різних конфліктах дало змогу чітко визначити еволюцію інфекційного профілю. У період кампаній в Іраку та Афганістані переважали грампозитивні збудники з поступовим збільшенням частки *Acinetobacter baumannii* та *Enterobacteriaceae* у госпітальних умовах [3]. У більш пізніх конфліктах, зокрема в Сирії та Лівії, а також під час російсько-української війни, встановлено значно більшу поширеність полірезистентних грамнегативних мікроорганізмів, що формують стійкі біоплівки та ускладнюють підготовку ранового ложа [18,21]. Ця тенденція істотно впливає на вибір тактики реконструкції та зумовлює необхідність більш тривалого етапу контролю інфекції перед остаточним закриттям дефекту.

Особливу роль у патогенезі інфекційних ускладнень відіграє формування бактеріальних біоплівок. Біоплівка – структуровано організована мікробна спільнота, інкапсульована у позаклітинний матрикс, що забезпечує мікроорганізмам захист від імунних механізмів та антибактеріальних препаратів. У випадках формування на рані біоплівки визначають порушення ключових етапів репарації: зниження активності фібробластів, пригнічення ангиогенезу, посилення хронічного запалення [22,23]. Для поранених військових ця проблема має особливе значення, оскільки багатоетапне лікування, повторні хірургічні ревізії та тривала експозиція рани до зовнішнього середовища створюють умови для стабільного існування біоплівкових форм інфекції.

Другий визначальний чинник – наявність девіталізованих тканин і так званої сірої зони – ділянок із порушеною, але не повністю втраченою перфузією. У високоенергетичних пораненнях зона первинного механічного ушкодження май-

же завжди оточена зоною вторинної ішемії, де остаточна демаркація некрозу може тривати від кількох діб до тижнів [16,24]. У цей період тканини перебувають у динамічному стані, і їхня життєздатність може змінюватися залежно від таких системних факторів, як гіпотензія, анемія чи інфекція.

За таких умов вибір обсягу дебридменту стає критично важливим. Надмірно радикальне висічення тканин, виконане на ранніх етапах, може призвести до втрати потенційно функціонально значущих структур, зокрема м'язів або шкірно-фасціальних елементів, які могли б бути використані для локальної реконструкції. З іншого боку, недостатнє видалення нежиттєздатних тканин створює умови для персистенції інфекції та потреби у повторних некретоміях [7,14,15]. Саме цей баланс між радикальністю та реконструктивною обережністю є однією з найскладніших дилем військової хірургії.

Навіть за відсутності явної інфекції порушення мікроциркуляції наявність фібринозних нашарувань, хронічне запалення та дефіцит зрілої грануляційної тканини істотно знижують ефективність будь-яких реконструктивних втручань [21]. У військових умовах ці проблеми посилюються через тривалі евакуаційні маршрути, обмежені можливості стандартизованого догляду за ранами та варіабельність лікувальної тактики на проміжних етапах [18,19].

Підготовка ранового ложа при бойових ушкодженнях кінцівок: сучасні та перспективні підходи. У сучасній військовій хірургії підготовку ранового ложа визначають не як пасивний етап очікування реконструкції, а як активний і керований процес, що безпосередньо впливає на успіх подальшого хірургічного відновлення. Перехід від застарілої концепції якнайшвидшого закриття будь-якою ціною до принципів стадійного менеджменту рани (staged wound management) зумовлений розумінням того, що біологічна готовність тканин до сприйняття трансплантата є критично важливою для його виживання. Особливої актуальності це набуває в умовах сучасних високоінтенсивних збройних конфліктів: концепція подовженої медичної допомоги у польових умовах (prolonged field care) передбачає, що хірурги здійснюватимуть спостереження та лікування ран на всіх етапах багатоланкової евакуації. Кожен етап евакуаційного шляху додає нових ризиків контамінації, що робить динамічну підготовку ложа дуже важливою для збереження кінцівки та адекватного функціонального результату [25].

Важливим патогенетичним бар'єром на шляху до фізіологічного загоєння бойових поранень є формування бактеріальних біоплівок. Ці складні мікробні спільноти, занурені у захисний полімерний матрикс, характеризуються надзвичайною стійкістю і до системних антибіотиків, і до імунної відповіді організму господаря [26]. Інноваційним рішенням цієї проблеми стало використання фаг-асоційованих ферментів, зокрема ендолізинів. Ці молекули мають унікальну здатність до швидкої деградації пептидоглікану клітинної стінки патогенів, що забезпечує потужний бактерицидний ефект навіть проти штамів із множинною антибіотикорезистентністю, які часто колонізують рани пацієнтів у військових госпіталях [27]. Крім біохімічного впливу, критичне значення має фізична деструкція інфекційного середовища. Низькочастотний ультразвуковий дебридмент завдяки ефекту мікрокавітації дає

змогу механічно руйнувати структуру біоплівок в анатомічно складних для доступу ділянках і видаляти мікроосередки некрозу. Такий підхід забезпечує прецизійне очищення ранової поверхні, зберігаючи цілісність молодих грануляцій і судинних структур, що неможливо при традиційному інструментальному дебридменті [28].

Застосування вакуум-асистованої терапії (negative pressure wound therapy, NPWT) при великих травматичних дефектах м'яких тканин сприяє зменшенню ексудації, набряку тканин і бактеріального навантаження, водночас стимулюючи ангиогенез та формування зрілої грануляційної тканини. За даними систематичних оглядів, використання NPWT вірогідно знижує частоту ранових інфекцій порівняно зі стандартними пов'язками та скорочує тривалість підготовки ранового ложа до остаточного закриття. У контексті бойових ушкоджень NPWT визначають як ключовий компонент staged wound management на етапі Role 3, зокрема при відтермінованому пластичному закритті та необхідності в повторних хірургічних ревізіях [27,29,30].

Важливим елементом контролю мікробного навантаження у період між оперативними втручанням та повторними дебридментами залишаються сучасні пов'язки з наночастинками срібла. Вони забезпечують пролонговану антисептичну дію, запобігаючи реконтамінації рани під час транспортування пораненого [31]. Проте лише боротьби з інфекцією недостатньо для повноцінної регенерації, особливо в зонах вторинної ішемії («сірій зоні»). Для активації метаболічних процесів у таких ділянках застосовують топічну оксигенотерапію. Насичення тканин киснем під локальним тиском безпосередньо стимулює ангиогенез, посилює фагоцитарну активність лейкоцитів і прискорює синтез колагену фібробластами, що є ключовим чинником для формування життєздатного ложа [32]. Додатковим фізичним стимулятором можуть бути електроактивні пов'язки, які за допомогою спрямованих електричних полів сприяють міграції епітеліоцитів і стовбурових клітин у центр дефекту, значно скорочуючи фазу запалення [33].

Рациональне поєднання цих методів із топічною антимікробною терапією дає змогу розірвати хибне коло хронічного запалення, характерне для складних травм [34]. Важливо розуміти, що інфекції, асоційовані з біоплівками, можуть повністю блокувати проліферативну фазу загоєння, переводячи рану у стан персистентного дефекту [35]. У разі масивних втрат м'яких тканин, де неможливе первинне зближення країв, золотим стандартом стає застосування дермальних замінників. Ці високотехнологічні матеріали створюють тимчасовий каркас, який імітує структуру дерми та забезпечує умови для вrostання власних клітин пацієнта [36]. Особливу увагу у цьому контексті привертають синтетичні біодеградабельні матриці. На відміну від біологічних аналогів, вони мають високу стійкість до протеолітичних ферментів в інфікованому середовищі та забезпечують рівномірну васкуляризацію всієї площі дефекту [29,37].

Альтернативним і біологічно активним методом є використання ксенографтів на основі ацелюлярної шкіри риби. Завдяки природній пористості та високій концентрації омега-3 жирних кислот такі покриття не лише виконують функцію захисного бар'єра, але й активно модулюють цитокінетичний

профіль у рані, трансформуючи прозапальне середовище у прорегенеративне [30,38]. Для подальшої ампліфікації відновлювальних процесів доцільно застосовувати аутологічну плазму, збагачену тромбоцитами (platelet-rich plasma, PRP). Вона виконує роль депо факторів росту, що запускають каскад клітинного поділу та диференціювання [39]. Вершиною регенеративного підходу є клітинна терапія із застосуванням мезенхімальних стовбурових клітин, які можуть замінювати втрачені популяції клітин і стимулювати органоспецифічне відновлення тканин [40].

Глибоке розуміння особливостей інфекційного мікросередовища бойової рани дає змогу хірургу відійти від шаблонів і застосовувати персоналізовану тактику підготовки ложа [41]. У цьому контексті фаготерапія як метод точкового біологічного контролю забезпечує елімінацію збудників навіть у глибоко розташованих анатомічних футлярах, де системна концентрація антибіотиків може бути недостатньою через порушення перфузії [42]. Саме синергія фізичних, біохімічних і клітинних технологій формує фундамент для успішного переходу від етапу очищення рани до остаточного реконструктивного закриття, що є запорукою максимального функціонального відновлення кінцівки у поранених.

Хірургічне закриття дефектів м'яких тканин кінцівок: еволюція реконструктивних рішень і пріоритет на функціональність. Реконструкція дефектів м'яких тканин кінцівок у військових поранених є завершальним етапом лікувального процесу, що разом із тим тісно пов'язаний з попередніми стадіями. Успіх цього етапу визначають не лише технічні навички хірурга чи доступність реконструктивних методик, а передусім якість рішень, ухвалених на попередніх рівнях медичної евакуації. У сучасних умовах реконструктивна стратегія має формуватися з урахуванням усього клінічного шляху пораненого, включно з характером первинного ушкодження, станом ранового ложа, інфекційним навантаженням і збереженістю судинної архітектури. Кінцевою метою такого підходу є не лише закриття дефекту, а досягнення функціонально значущого результату, що забезпечує збереження опороздатності кінцівки, мінімізацію ускладнень і можливість повернення пацієнта до активного життя або служби [43,44].

Найбільш поширеними та відтворюваними методами реконструкції залишаються локальні й регіональні клапті, які у багатьох випадках становлять основу хірургічної тактики. Їхня перевага полягає у відносній технічній простоті та мінімальному пошкодженні донорської зони, крім того, немає потреби у складному мікрохірургічному обладнанні. За умови збереження адекватного кровопостачання такі клапті дають змогу ефективно закривати дефекти малих і середніх розмірів із прийнятними функціональними та естетичними результатами [45]. Водночас їх застосування критично залежить від анатомічної цілісності тканин, що часто порушена внаслідок агресивних або нераціональних втручань на ранніх етапах лікування.

Особливу увагу в цьому контексті привертає keystone-клапоть, який поєднує надійність із відносною простотою виконання. Завдяки багатоперфорантному кровопостачанню та мінімальному натягу тканин цей метод добре адаптований

до умов військової травми, де локальна ішемія, набряк і повторні хірургічні втручання є частими супутніми чинниками [43,46]. Універсальність keystone-клаптя робить його одним із найбільш перспективних варіантів для широкого впровадження у військових госпіталях, особливо в умовах обмежених ресурсів.

Розвиток реконструктивної хірургії дефектів м'яких тканин пов'язаний із застосуванням перфорантних і пропелерних клаптів, які дають змогу більш точно адаптувати форму та об'єм тканин до конкретного дефекту. Ці методики спрямовані на збереження магістральних судин і зменшення донорської морбідності, що має особливе значення у поранених із множинними ушкодженнями [10,47,48]. Однак успішність таких реконструкцій істотно залежить від збереження перфорантів, що, у свою чергу, визначається хірургічною тактикою на рівні Role 2. Необрінтовані розрізи, агресивний дебридмент або пошкодження судин на ранніх етапах можуть суттєво обмежити можливості застосування цих методів надалі.

Дані порівняльних досліджень, отримані під час тривалого спостереження за пораненими в Афганістані та Іраку, зокрема в межах дослідження METALS, показали, що функціональні результати збереження кінцівки при складних дефектах м'яких тканин можуть бути зіставними з результатами ампутації за умови адекватної реконструкції та реабілітації. Водночас ці результати значною мірою залежали від якості первинних хірургічних рішень і можливості застосування реконструктивних методів без втрати судинного потенціалу. У сучасних конфліктах із високою частотою інфекційних ускладнень і множинних ушкоджень роль staged-реконструкції з поетапною підготовкою ранового ложа стає визначальною для досягнення функціонально прийнятного результату [10,44].

Важливим і водночас дискусійним аспектом реконструкції є вибір оптимального часу для закриття дефекту. Передчасне виконання реконструкції за умов персистентної інфекції або незрілого ранового ложа асоціюється з високим ризиком некрозу клаптя, інфекційних ускладнень і потреби у повторних оперативних втручаннях. З іншого боку, надмірне відтермінування реконструкції може призводити до формування рубцевих змін, контрактур і погіршення функціонального результату [49,50]. У цьому контексті staged-підхід є оптимальною стратегією, що передбачає поетапну підготовку рани з використанням сучасних методів контролю інфекції та біоактивних матеріалів з остаточним закриттям дефекту надалі.

Вільні мікросудинні клапті залишаються оптимальним інструментом реконструкції великих і складних дефектів м'яких тканин. Вони дають змогу одномоментно відновити значний об'єм тканин і адекватне кровопостачання, що робить їх незамінними у випадках масивних ушкоджень [51]. Водночас у військових умовах їх застосування часто обмежене логістичними чинниками, потребою у спеціалізованій команді та складному післяопераційному моніторингу. Тому застосування вільних клаптів зазвичай є відстроченим або резервним методом, що доступний переважно на рівні Role 4 або у тилових спеціалізованих центрах.

Сучасна реконструкція дефектів м'яких тканин кінцівок у військових конфліктах ґрунтується на принципах етапності, збереження тканинного потенціалу та функціональної

Таблиця 2. Практичні рекомендації щодо менеджменту дефектів м'яких тканин на етапах Role 2 та Role 3

Напрямок	Рекомендації для Role 2 (Forward Surgical Team)	Рекомендації для Role 3 (військовий госпіталь)
Хірургічний доступ	виконувати лише стандартні поздовжні розрізи; уникати поперечних і S-подібних розрізів, що перетинають зони потенційних клаптів (окрім фасціотомії на передпліччі)	використовувати старі розрізи для доступу; за потреби розширювати їх з урахуванням дизайну майбутньої пластики
Робота з судинами	не коагулювати перфорантні судини на кінцівках, якщо немає кровотечі; зберігати судини, навіть якщо вони почасти оголені	проводити ревізію судинної архітектури (доплер / ангиографія); прецизійна дисекція реципієнтних судин
Менеджмент рани	тимчасове покриття (пухка тампонада, серветки з антисептиком); не зашивати рани	рання ВАК-терапія (NPWT); використання дермальних матриць (BTM) при дефіциті власних тканин
Контроль інфекції	системна антибіотикотерапія за протоколом JTS; рясна іригація фізіологічним розчином	ультразвуковий дебридмент для руйнування біоплівки; оцінити доцільність антибактеріальної терапії (за показаннями), фаготерапії (вибірково)
Комунікація між Role 2 і 3	фотофіксація рани після первинної хірургічної обробки; передача фото-, відеоматеріалів хірургам наступного етапу для планування пластики	зворотний зв'язок на Role 2 щодо якості первинного дебридменту та збереженості судин
Пріоритет методу	збереження: залишити якомога більше тканин для «маневру» пластичного хірурга	відновлення: перехід від лише закриття до функціональної реконструкції клаптями

доцільності. Вибір реконструктивного методу має визначатися не лише розмірами дефекту, але й контекстом усього лікувального процесу, включно з рішеннями, ухваленими на ранніх етапах медичної допомоги. Для забезпечення функціонального закриття дефектів та запобігання типовим тактичним помилкам доцільно використовувати структуровані рекомендації щодо менеджменту рани на етапах Role 2 та Role 3 [9,52] (табл. 2).

Саме узгодженість і послідовність підходів на цих етапах формують основу для досягнення оптимальних клінічних і функціональних результатів у лікуванні поранених із дефектами м'яких тканин кінцівок [9,51,52].

Висновки

1. Лікування дефектів м'яких тканин кінцівок у військових умовах потребує системного етапного підходу, основою якого є чітка координація на рівнях Role 2 та Role 3. Тактика мінімально достатнього втручання на догоспітальному та ранньому госпітальному етапах (Role 2) із пріоритетом на контроль інфекції та щадний дебридмент є визначальною для збереження реконструктивного потенціалу тканин.

2. На етапі надання спеціалізованої допомоги (Role 3) впровадження концепції staged wound management у поєднанні з динамічним оцінюванням так званої сірої зони дає змогу ефективно перейти від стратегії збереження кінцівки до відновлення її функції. Рациональний вибір реконструктивної тактики (від локальних і перфорантних клаптів до мікрохірургічних трансферів) має враховувати насамперед ангиоархітектоніку та стан локального судинного русла.

3. Сучасна парадигма підготовки ранового ложа ґрунтується на інтеграції інноваційних антибіоплівкових технологій і біоактивних матеріалів. Використання біотрансформувальних дермальних матриксів і сучасних антимікробних пов'язок дає змогу створити контрольоване середовище для регенерації навіть у разі складних контамінованих поранень.

4. Перспективними напрямками підвищення ефективності лікування бойових травм є впровадження методів точкового біологічного контролю (фаготерапія), фізичної санації (ультразвукова кавітація) та стимуляції клітинної міграції (електроактивні матеріали). Їх раціональне включення в клінічні протоколи сприятиме істотному зниженню частоти інфекційних ускладнень, а отже підвищить прогнозованість хірургічного результату.

5. Подальший розвиток військової реконструктивної хірургії має бути спрямований на адаптацію високотехнологічних методів до реалій багатоетапної евакуації та розробку уніфікованих алгоритмів підготовки ранового ложа, що поєднують класичні хірургічні принципи з новітніми досягненнями регенеративної медицини.

Декларація щодо використання ШІ

Під час підготовки статті використано такі інструменти штучного інтелекту: Google Gemini AI. Інструмент застосовано для перевірки мовного оформлення рукопису та упорядкування списку літератури. Усі фрагменти, створені або опрацьовані з використанням ШІ, перевірені та відредаговані авторами, які несуть повну відповідальність за зміст статті.

Фінансування

Дослідження здійснено без фінансової підтримки.

Відомості про авторів:

Міхеев Ю. О., д-р мед. наук, професор каф. медицини катастроф та військової медицини, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет; майор медичної служби, провідний хірург, Запорізький військовий госпіталь, Військова частина А3309, Україна. ORCID ID: 0000-0002-0305-1570
Кузів Р. М., начальник Запорізького військового госпіталю, Україна. ORCID ID: 0009-0001-4462-9922
Ткачук Д. В., хірург, Запорізький військовий госпіталь, Україна. ORCID ID: 0009-0007-2634-4193
Белкін І. М., хірург, Запорізький військовий госпіталь, Україна. ORCID ID: 0009-0008-6890-9321

Голдовський Б. М., д-р мед. наук, професор, зав. каф. медицини катастроф та військової медицини, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Україна.

ORCID ID: 0000-0002-5390-3989

Мялковський Д. С., PhD, старший судинний хірург, Запорізький військовий госпіталь, Україна.

ORCID ID: 0000-0001-5565-0850

Мачуський С. М., судинний хірург, Запорізький військовий госпіталь, Україна.

ORCID ID: 0000-0002-0985-223X

Information about the authors:

Mikheiev Iu. O., MD, PhD, DSc, Professor of the Department of Disaster Medicine and Military Medicine, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University; Major of the Medical Service, Leading Surgeon, Zaporizhzhia Military Hospital, Military Unit A3309, Ukraine.

Kuziv R. M., MD, Commander of Zaporizhzhia Military Hospital, Ukraine.

Tkachuk D. V., MD, Surgeon, Zaporizhzhia Military Hospital, Ukraine.

Bielkin I. M., MD, Surgeon, Zaporizhzhia Military Hospital, Ukraine.

Holdovskyi B. M., MD, PhD, Professor, Head of the Department of Disaster Medicine and Military Medicine, Zaporizhzhia State Medical and Pharmaceutical University, Ukraine.

Mialkovskiy D. S., MD, PhD, Senior Vascular Surgeon, Zaporizhzhia Military Hospital, Ukraine.

Machuskiy S. M., MD, Vascular Surgeon, Zaporizhzhia Military Hospital, Ukraine.



Юрій Міхеєв (Iurii Mikheiev)
mikheiev.u.a@gmail.com

References

- Denysiuk M, Dubrov S, Poniatovska H, Lianskorunskiy V. Analysis of the structure and features of traumatic injuries in victims with combat trauma. *Medicini Perspektivi*. 2025;30(2):156-63. Ukrainian. doi: [10.26641/2307-0404.2025.2.333655](https://doi.org/10.26641/2307-0404.2025.2.333655)
- Yavnai N, Bar-Sela S, Pantanowitz M, Funk S, Waddington G, Simchas L, Svorai-Litvak S, Steinberg N. Incidence of injuries and factors related to injuries in combat soldiers. *BMJ Mil Health*. 2021;167(6):418-23. doi: [10.1136/jramc-2019-001312](https://doi.org/10.1136/jramc-2019-001312)
- Abdulshafea M, Di Pietro V, Naumann D, Ahmed Z. Traumatic injuries and outcomes during the Libyan Civil War: a systematic review. *BMJ Mil Health*. 2026;172(2):115-21. doi: [10.1136/military-2024-002943](https://doi.org/10.1136/military-2024-002943)
- Perez KG, Eskridge SL, Clouser MC, McCabe CT, Galarneau MR. A Focus on Non-Amputation Combat Extremity Injury: 2001-2018. *Mil Med*. 2022;187(5-6):e638-43. doi: [10.1093/milmed/usab143](https://doi.org/10.1093/milmed/usab143)
- Darvishi M, Hejripour SZ, Hosseini Shokouh SJ, Soltani R, Shariatirad A, Nouri M. Prevention of combat-related infections: A review of the literature. *Ann Mil Health Sci Res*. 2023;21(3):e141348. doi: [10.5812/amh-141348](https://doi.org/10.5812/amh-141348)
- Soderstrom MA, Blyth DM, Carson ML, Campbell WR, Yabes JM, Shaikh F, et al. Seasonality of Microbiology of Combat-Related Wounds and Wound Infections in Afghanistan. *Mil Med*. 2023;188(Suppl 6):304-10. doi: [10.1093/milmed/usad115](https://doi.org/10.1093/milmed/usad115)
- Formanchuk AM, Shaprynskiy VO, Dmytryshin SP, Hnatiyk YP, Moskaliuk OV, Vozniuk TO, et al. Treatment of combat gunshot shrapnel trauma of large defects of the soft tissues of the lower extremities with plastic surgery in combination with vacuum assisted wound closure (VAC). *Wiad Lek*. 2023;76(5 pt 2):1167-72. doi: [10.36740/WLek202305205](https://doi.org/10.36740/WLek202305205)
- Yaacoub S, Truppa C, Pedersen TI, Abdo H, Rossi R. Antibiotic resistance among bacteria isolated from war-wounded patients at the Weapon Traumatology Training Center of the International Committee of the Red Cross from 2016 to 2019: a secondary analysis of WHONET surveillance data. *BMC Infect Dis*. 2022;22(1):257. doi: [10.1186/s12879-022-07253-1](https://doi.org/10.1186/s12879-022-07253-1)
- Pilgrim C, Brennan L. Surgical management of injured ADF personnel deployed to Afghanistan 2001-2021. *ANZ J Surg*. 2023;93(4):821-8. doi: [10.1111/ans.18141](https://doi.org/10.1111/ans.18141)
- Power HA, Cho J, Kwon JG, Abdelfattah U, Pak CJ, Suh HP, et al. Are Perforators Reliable as Recipient Arteries in Lower Extremity Reconstruction? Analysis of 423 Free Perforator Flaps. *Plast Reconstr Surg*. 2022;149(3):750-60. doi: [10.1097/PRS.00000000000008873](https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000008873)
- Sibbald RG, Elliott JA, Persaud-Jaimangal R, Goodman L, Armstrong DG, Harley C, et al. Wound bed preparation 2021. *Wound Healing Southern Africa*. 2021;14(2):52-62. Available from: https://hdl.handle.net/10520/ejc-mp_whsa_v14_n2_a3
- Ongarora BG. Recent technological advances in the management of chronic wounds: A literature review. *Health Sci Rep*. 2022;5(3):e641. doi: [10.1002/hsr2.641](https://doi.org/10.1002/hsr2.641)
- Lammers DT, Holcomb JB. Damage control resuscitation in adult trauma patients: What you need to know. *J Trauma Acute Care Surg*. 2023;95(4):464-71. doi: [10.1097/TA.0000000000004103](https://doi.org/10.1097/TA.0000000000004103)
- Powell-Bowns MF, Keating JF. Timing of debridement: When to do it, and who should perform it? *Injury*. 2024 Nov;55 Suppl 6:111604. doi: [10.1016/j.injury.2024.111604](https://doi.org/10.1016/j.injury.2024.111604)
- Trutyak I, Los D, Medzyn V, Trunkvalter V, Zukovsky V. Treatment of combat surgical trauma of the limbs in the conditions of modern war. *Proceeding of the Shevchenko Scientific Society*. 2022;69(2). doi: [10.25040/ntsh2022.02.16](https://doi.org/10.25040/ntsh2022.02.16)
- Mayer DO, Tettelbach WH, Ciprandi G, Downie F, Hampton J, Hodgson H, et al. Best practice for wound debridement. *J Wound Care*. 2024;33(Sup-6b):S1-S32. doi: [10.12968/jowc.2024.33.Sup6b.S1](https://doi.org/10.12968/jowc.2024.33.Sup6b.S1)
- Mathieu L, Choufani C, Andro C, de l'Escalopier N. Management of combat-related extremity injuries in modern armed conflicts. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2025;111(1S):104055. doi: [10.1016/j.otsr.2024.104055](https://doi.org/10.1016/j.otsr.2024.104055)
- Levack AE, Reider L, Odum S, Hayda R, Frisch H, Andersen RC, et al. Outcomes of amputation and limb salvage in combat injuries: Does level of injury matter? A secondary analysis of Military Extremity Trauma Amputation/Limb Salvage (METALS) study data. *Injury*. 2025;56(4):112220. doi: [10.1016/j.injury.2025.112220](https://doi.org/10.1016/j.injury.2025.112220)
- Leland HA, Kim JS, Badash I, Burt KE, Rounds AD, Wlodarczyk J, et al. A Quantitative Evaluation of Functional Recovery after Traumatic Lower Extremity Salvage. *J Surg Res*. 2022;270:85-91. doi: [10.1016/j.jss.2021.08.030](https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.08.030)
- Avila-Herrera A, Thissen JB, Mulakken N, Schobel SA, Morrison MD, Zhou X, et al. Metagenomic features of bioburden serve as outcome indicators in combat extremity wounds. *Sci Rep*. 2022;12(1):13816. doi: [10.1038/s41598-022-16170-x](https://doi.org/10.1038/s41598-022-16170-x)
- Poutoglidou F, Khan R, Krkovic M. Amputation versus Reconstruction in Severe Lower Extremity Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Arch Bone Jt Surg*. 2023;11(6):378-87. doi: [10.22038/ABJS.2023.67643.3207](https://doi.org/10.22038/ABJS.2023.67643.3207)
- Goswami AG, Basu S, Banerjee T, Shukla VK. Biofilm and wound healing: from bench to bedside. *Eur J Med Res*. 2023;28(1):157. doi: [10.1186/s40001-023-01121-7](https://doi.org/10.1186/s40001-023-01121-7)
- Almuhanna Y. Microbial Biofilms as Barriers to Chronic Wound Healing: Diagnostic Challenges and Therapeutic Advances. *J Clin Med*. 2025;14(22):8121. doi: [10.3390/jcm14228121](https://doi.org/10.3390/jcm14228121)
- Patterson JT, Nakata H, Becerra J, Duong A. Traumatic soft tissue defects: a perspective review on reconstruction and communication priorities from the orthopaedic trauma surgeon as a partner in care. *Plast Aesthet Res*. 2022;9(3):23. doi: [10.20517/2347-9264.2021.117](https://doi.org/10.20517/2347-9264.2021.117)
- Connolly M, Ibrahim ZR, Johnson ON 3rd. Changing paradigms in lower extremity reconstruction in war-related injuries. *Mil Med Res*. 2016;3:9. doi: [10.1186/s40779-016-0080-7](https://doi.org/10.1186/s40779-016-0080-7)
- Shevchenko O, Kharina A, Kornienko N, Budzanivska I, Andrichuk O, Pozhylov I, et al. Phage Therapy in Traumatology: A Review on Perspectives for Treating Acute Wounds and Post-Surgical Complications. *Mikrobiologichnyi Zhurnal*. 2024;86(5):117-36. doi: [10.15407/microbiolj86.05.117](https://doi.org/10.15407/microbiolj86.05.117)
- Masihullah W, Asghar S, Iqtadar R, Azam M. Innovative strategies to overcome antibiotic resistance: advances and future directions. *Frontier in Medical and Health Research*. 2025;3(3):722-35. doi: [10.5281/zenodo.15447884](https://doi.org/10.5281/zenodo.15447884)
- Matsuoka Y, Himejima T, Kakudo N. A New Treatment Strategy for Chronic Wounds Using an Ultrasonic Debridement Device Indications and Limitations. *International Journal of Surgical Wound Care*. 2022;3(3):106-12. doi: [10.36748/ijswc.3.3_106](https://doi.org/10.36748/ijswc.3.3_106)
- Grande PK, Hill D, McElfresh J, Velamuri R, Liu X. Systematic Review and Meta-analysis of Biodegradable Temporizing Matrix Application for Complex Wound Reconstruction. *J Burn Care Res*. 2025;46(1):82-9. doi: [10.1093/jbcr/irae081](https://doi.org/10.1093/jbcr/irae081)
- Luze H, Nischwitz SP, Smolle C, Zrim R, Kamolz LP. The Use of Acellular Fish Skin Grafts in Burn Wound Management-A Systematic Review. *Medicina (Kaunas)*. 2022;58(7):912. doi: [10.3390/medicina58070912](https://doi.org/10.3390/medicina58070912)
- Jangid H, Singh S, Kashyap P, Singh A, Kumar G. Advancing biomedical applications: an in-depth analysis of silver nanoparticles in antimicrobial,

- anticancer, and wound healing roles. *Front Pharmacol*. 2024;15:1438227. doi: [10.3389/fphar.2024.1438227](https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1438227)
32. Gupta S, Mujawdiya P, Maheshwari G, Sagar S. Dynamic Role of Oxygen in Wound Healing: A Microbial, Immunological, and Biochemical Perspective. *Arch Razi Inst*. 2022;77(2):513-23. doi: [10.22092/ARI.2022.357230.2003](https://doi.org/10.22092/ARI.2022.357230.2003)
 33. Korupalli C, Li H, Nguyen N, Mi FL, Chang Y, Lin YJ, et al. Conductive Materials for Healing Wounds: Their Incorporation in Electroactive Wound Dressings, Characterization, and Perspectives. *Adv Healthc Mater*. 2021;10(6):e2001384. doi: [10.1002/adhm.202001384](https://doi.org/10.1002/adhm.202001384)
 34. Haidari H, Melguizo-Rodríguez L, Cowin AJ, Kopecki Z. Therapeutic potential of antimicrobial peptides for treatment of wound infection. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2023;324(1):C29-C38. doi: [10.1152/ajpcell.00080.2022](https://doi.org/10.1152/ajpcell.00080.2022)
 35. Zafer MM, Mohamed GA, Ibrahim S, Ghosh S, Bornman C, Elfaky MA. Bio-film-mediated infections by multidrug-resistant microbes: a comprehensive exploration and forward perspectives. *Arch Microbiol*. 2024;206(3):101. doi: [10.1007/s00203-023-03826-z](https://doi.org/10.1007/s00203-023-03826-z)
 36. Gupta S, Moiemien N, Fischer JP, Attinger C, Jeschke MG, Taupin P, et al. Dermal Regeneration Template in the Management and Reconstruction of Burn Injuries and Complex Wounds: A Review. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2024;12(3):e5674. doi: [10.1097/GOX.0000000000005674](https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000005674)
 37. Boschetti CE, Lo Giudice G, Staglianò S, Pollice A, Guida D, Magliulo R, et al. One-stage scalp reconstruction using single-layer dermal regeneration template and split-thickness skin graft: a case series. *Oral Maxillofac Surg*. 2024;28(4):1635-42. doi: [10.1007/s10006-024-01292-5](https://doi.org/10.1007/s10006-024-01292-5)
 38. Ibrahim M, Ayyoubi HS, Alkhairi LA, Tabbaa H, Elkins I, Narvel R. Fish Skin Grafts Versus Alternative Wound Dressings in Wound Care: A Systematic Review of the Literature. *Cureus*. 2023;15(3):e36348. doi: [10.7759/cureus.36348](https://doi.org/10.7759/cureus.36348)
 39. Verma R, Kumar S, Garg P, Verma YK. Platelet-rich plasma: a comparative and economical therapy for wound healing and tissue regeneration. *Cell Tissue Bank*. 2023;24(2):285-306. doi: [10.1007/s10561-022-10039-z](https://doi.org/10.1007/s10561-022-10039-z)
 40. Farabi B, Roster K, Hirani R, Tepper K, Atak MF, Safai B. The Efficacy of Stem Cells in Wound Healing: A Systematic Review. *Int J Mol Sci*. 2024;25(5):3006. doi: [10.3390/ijms25053006](https://doi.org/10.3390/ijms25053006)
 41. Bjarnsholt T, Whiteley M, Rumbaugh KP, Stewart PS, Jensen PØ, Frimodt-Møller N. The importance of understanding the infectious microenvironment. *Lancet Infect Dis*. 2022;22(3):e88-e92. doi: [10.1016/S1473-3099\(21\)00122-5](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(21)00122-5)
 42. Wang B, Du L, Dong B, Kou E, Wang L, Zhu Y. Current Knowledge and Perspectives of Phage Therapy for Combating Refractory Wound Infections. *Int J Mol Sci*. 2024;25(10):5465. doi: [10.3390/ijms25105465](https://doi.org/10.3390/ijms25105465)
 43. Bonetti C, Arleo S, Valdatta L, Faini G. The Keystone Design Perforator Flap: A Flap to Simplify Complex Reconstructive Issues. *Indian J Plast Surg*. 2024;57(Suppl 1):S30-5. doi: [10.1055/s-0044-1788990](https://doi.org/10.1055/s-0044-1788990)
 44. Liu Z, Liu S, Yang L, Cheng J, Zhang T, Gao Q, et al. Reconstruction of large-area wounds in limbs using two flow-through anterolateral thigh perforator flaps. *Injury*. 2023;54(10):110979. doi: [10.1016/j.injury.2023.110979](https://doi.org/10.1016/j.injury.2023.110979)
 45. Azoury SC, Kovach SJ, Levin LS. Reconstruction Options for Lower Extremity Traumatic Wounds. *J Am Acad Orthop Surg*. 2022;30(16):735-46. doi: [10.5435/JAAOS-D-21-01081](https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-21-01081)
 46. Weinberg M, Heiman AJ, DeSanti R, Lanni MA, Kouwenberg EV, Patel A. Outcomes of the Keystone Island Perforator Flap: A Systematic Review. *J Reconstr Microsurg*. 2022;38(9):727-33. doi: [10.1055/s-0042-1745744](https://doi.org/10.1055/s-0042-1745744)
 47. El-Gammal TA, Hassan YS, Raief T, Elyounsi M, Adel M. Role of perforator flaps in leg and foot reconstruction. *Acta Chir Plast*. 2023;65(1):20-7. English. doi: [10.48095/ccachp202320](https://doi.org/10.48095/ccachp202320)
 48. Scampa M, Mégevand V, Suva D, Kalbermatten DF, Oranges CM. Free versus Pedicled Flaps for Lower Limb Reconstruction: A Meta-Analysis of Comparative Studies. *J Clin Med*. 2022;11(13):3672. doi: [10.3390/jcm11133672](https://doi.org/10.3390/jcm11133672)
 49. Dow T, ElAbd R, McGuire C, Corkum J, Youha SA, Samargandi O, et al. Outcomes of Free Muscle Flaps versus Free Fasciocutaneous Flaps for Lower Limb Reconstruction following Trauma: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Reconstr Microsurg*. 2023;39(7):526-39. doi: [10.1055/a-2003-8789](https://doi.org/10.1055/a-2003-8789)
 50. Petfield JL, Lewandowski LR, Stewart L, Murray CK, Tribble DR. ID-CRP Combat-Related Extremity Wound Infection Research. *Mil Med*. 2022;187(Suppl 2):25-33. doi: [10.1093/milmed/usab065](https://doi.org/10.1093/milmed/usab065)
 51. Stewart L, Shaikh F, Sercy E, Carson ML, Gedeon D, Wyatt AC, et al. Early Factors Related to Healthcare Utilization by Infection Status among Combat Injured. *Mil Med*. 2026;191(3-4):e772-81. doi: [10.1093/milmed/usaf413](https://doi.org/10.1093/milmed/usaf413)
 52. Mathieu L, Durand M, de L'escalopier N, Bertani A, Rongieras F, Collobet JM. Challenges and solutions for reconstruction of combat extremity injuries encountered during high-intensity warfare. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2024;50(3):1183-4. doi: [10.1007/s00068-023-02419-1](https://doi.org/10.1007/s00068-023-02419-1)