

Сіваш Ю. Ю.^{1,2}, майор медичної служби, аспірант кафедри хірургії з курсом невідкладної та судинної хірургії; ординатор клініки судинної хірургії, <https://orcid.org/0000-0002-7956-6378>.

Коваль Б. М.^{1,2}, канд. мед. наук, лікар-хірург клініки судинної хірургії, доцент кафедри хірургії з курсом невідкладної та судинної хірургії, <https://orcid.org/0000-0003-0166-8603>.

¹ Національний військово-медичний клінічний центр «Головний військовий клінічний госпіталь», м. Київ, Україна

² Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

Вакуумна терапія у комплексному хірургічному лікуванні бойової травми судин кінцівок: основи безпечного застосування та клінічний досвід

Резюме

Актуальність. Бойова травма судин кінцівок належить до найбільш складних у структурі поранень. Вона рідко є ізольованою, часто супроводжується значними дефектами м'яких тканин і мікробною контамінацією, що підвищує ризик розвитку таких тяжких ускладнень, як тромбоз або арозивна кровотеча. Лікування бойової травми судин кінцівок є надзвичайно складним і тривалим процесом, який нерідко завершується втратою кінцівки. Вакуумна терапія (ВТ) зарекомендувала себе як ефективний метод лікування складних вогнепальних ран у бойових умовах, про що свідчать дані сучасної літератури. Водночас інформації щодо її застосування при бойовій травмі судин кінцівок залишається недостатньо.

Мета. Проаналізувати теоретичні та практичні аспекти безпечного застосування вакуумної терапії при бойовій травмі магістральних судин кінцівок, визначити показання, протипоказання та оптимальні технічні умови використання методу.

Матеріали та методи. Проведено порівняльний аналіз наукових джерел та клінічних спостережень, у яких представлено результати застосування ВТ при лікуванні поранених із бойовою травмою судин і дефектами м'яких тканин нижніх кінцівок, у лікуванні яких ВТ використовувалася як складова етапного хірургічного менеджменту.

Результати. Визначено показання, протипоказання та ключові принципи безпечного застосування ВТ у судинній хірургії. Використання двошарової пов'язки з бар'єрним прошарком і підтримання постійного негативного тиску в межах 70-80 мм рт. ст. забезпечило безпечність процедури у зоні судинної реконструкції, сприяло швидкому очищенню ран, формуванню грануляційної тканини та успішному відтермінованому закриттю дефектів шкірно-пластичними методами.

Висновки. Вакуумна терапія є ефективним компонентом комплексного хірургічного лікування бойової травми судин, що поєднується з дефектами м'яких тканин. Безпечне застосування методу потребує ретельного захисту судинного анастомозу, дотримання сталого режиму негативного тиску та індивідуальної оцінки ризиків. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку уніфікованих клінічних алгоритмів застосування ВТ при бойовій травмі судин кінцівок, створення засобів надійного захисту судинної стінки, а також профілактику виникнення ускладнень.

Ключові слова: поранення магістральних судин кінцівок, терапія ран негативним тиском, NPWT, рана-ва інфекція, кровотеча, війна в Україні.

Вступ. Пошкодження магістральних судин кінцівок становлять 12-14 % у структурі сучасної бойової травми, що значно перевищує показники, зафіксовані під час попередніх воєн та збройних конфліктів [1]. Це зумовлено, з одного боку, широким застосуванням високоенергетичної зброї, а з іншого – удосконаленням засобів індивідуального захисту (бронежилети, кевларовий захист попереку та пахової

ділянки), які зменшують частоту поранень тулуба, проте залишають кінцівки вразливими [2-4].

Класичний підхід до ведення вогнепальних ран передбачає етапні хірургічні обробки з видаленням нежиттєздатних тканин, сторонніх тіл та гематом із подальшим відтермінованим закриттям [7,8]. Первинне ушивання, як правило, протипоказане через наявність зони вторинного ушкодження та високий ризик інфекційних ускладнень [8].

Вакуумна терапія (ВТ) є ефективним методом лікування складних вогнепальних ран [9-12]. Водночас при бойовій травмі магістральних судин кінцівок ви-

користання ВТ залишається дискусійним через потенційний вплив негативного тиску на судинну стінку та зону анастомозу [13-16]. Поєднання ранової інфекції з дефектами м'яких тканин у ділянці судинної реконструкції створює ризик пересихання судинної стінки та арозивної кровотечі. Чинні настанови не регламентують або лише побіжно згадують застосування ВТ у таких ситуаціях, що ускладнює вибір тактики лікування.

Теоретичні аспекти дії ВТ

Вакуумна терапія (VAC-терапія, NPWT) – метод лікування ран, що ґрунтується на застосуванні контрольованого негативного тиску. Метод передбачає розміщення в рані пористої губки, герметизацію ранової поверхні спеціальною плівкою та підключення системи до вакуумного пристрою з постійною або інтермітуючою аспірацією ексудату [17,18].

Тип губок і показання [19,20]:

- **поліуретанова (чорна)** – гідрофобна, рекомендована при високій ексудації; активно стимулює утворення грануляційної тканини;
- **полівінілалкогольна (PVA, біла)** – гідрофільна, м'яка; оптимальна для делікатних структур (судини, сухожилки), знижує ризик гіпергрануляції;
- **з іонами срібла (сіра)** – має виражену антибактеріальну дію, рекомендована при інфікованих ранах.

Чорна губка, що характеризується більшими порами, сприяє вrostанню фіброваскулярної тканини та активному росту грануляційної тканини. Натомість білі PVA-губки мають дрібніші пори, що обмежує проростання тканин, роблячи їх більш придатни-

ми для накладання на ділянки з оголеними нервами, судинами або сухожилками [21,22].

Ключові механізми дії ВТ [17,23] (рисунок 1):

1. **Макродеформація** – механічне стягнення країв рани, зменшення її площі за рахунок дії негативного тиску;
2. **Мікродеформація** – мікроскопічна деформація тканин стимулює проліферацію клітин і ангиогенез;
3. **Евакуація рідини** – дренаж ексудату, усунення медіаторів запалення, зменшення набряку;
4. **Оптимізація середовища рани** – підтримка стабільної вологості та створення герметичного бар'єра від зовнішнього забруднення.

Режими проведення ВТ [19]:

- постійний – підтримання негативного тиску постійної величини в рані;
- інтермітуючий – тиск змінюється від 0 до встановленої величини через певні інтервали часу;
- циклічний – еріодична зміна тиску в рані на 30-40 мм рт. ст.

Постійний режим роботи застосовується переважно в першій фазі ранового процесу, тоді як інтермітуючий – у другій фазі, з метою стимуляції росту грануляцій та покращення мікроциркуляції в навколишніх тканинах. Доведено, що швидкість утворення грануляційної тканини вдвічі вища при інтермітуючому режимі, хоча пацієнти можуть відчувати дискомфорт в рані під час переходу між рівнями тиску.

Циклічний режим негативного тиску сприяє активному росту грануляційної тканини та зазвичай краще переноситься пацієнтами.



Рисунок 1. Терапевтичні ефекти вакуумної терапії при бойовій травмі

Оптимальний рівень негативного тиску становить 75-125 мм рт. ст., що забезпечує адекватну перфузію тканин і стимулює формування грануляцій відповідно до терапевтичних цілей [24,25].

Тривалість одного сеансу вакуумної терапії, як правило, не перевищує 3-4 доби. Кількість сеансів і загальна тривалість лікування визначаються загальним станом пацієнта, характеристиками ранового процесу та динамікою загоєння.

Ефективність методу значною мірою залежить не лише від фізіологічних ефектів, а й від технічно правильного накладання пов'язки – вибору відповідного типу губки, рівня негативного тиску, режиму проведення ВТ та дотримання герметичності системи.

На рисунку 2 представлено етапи накладання вакуумної пов'язки при вогнепальній рані гомілки, які ілюструють ключові технічні кроки – від адаптації губки до розмірів дефекту до герметизації плівкою та підключення пристрою для ВТ.

Такий підхід забезпечує рівномірний розподіл негативного тиску в рановому ложі, оптимальний дренаж ексудату та стимуляцію формування грануляційної тканини.

ВТ при бойовій травмі кінцівок

Концепція застосування ВТ у військово-польовій хірургії запозичена з цивільної медицини, де вона довела свою ефективність у лікуванні гострих і хронічних ран, дефектів м'яких тканин, трофічних виразок, опіків та пролежнів [26-28]. Вперше її ефективність при бойових пораненнях було відзначено у керівництві *Emergency War Surgery* (2004), де підкреслено переваги ВТ в очищенні ран, забезпеченні герметизації та зниженні ризику мікробної контамінації під час евакуації поранених [29].

У дослідженні В. Е. Leininger серед 77 поранених в Іраку комбіноване застосування ВТ із хірургічною санацією та пульс-іригацією дозволило знизити

частоту інфекційних ускладнень з 80 % до 0 %. Середній термін закриття ран становив 4,2 доби, що є суттєвим досягненням в умовах бойової медицини [30]. М. А. Реск повідомляє про низьку частоту інфекцій (3,7 %), ампутацій (3 %) та летальності (1,5 %) у поранених з ушкодженнями судин кінцівок, які отримували ВТ [31].

У роботі М. D. Helgeson зазначено, що серед 16 пацієнтів із масивними дефектами (площа ран – 87 см²) у 81 % випадків вдалося досягти первинного або відтермінованого закриття без ускладнень [32]. М. S. Machen, проаналізувавши 286 оперативних втручань у поранених під час бойових дій в Іраку, дійшов висновку, що ВТ є ефективним інструментом підготовки ран до пластичного закриття. Вона сприяє швидкому очищенню, зменшенню розмірів рани та активному формуванню грануляційної тканини [33].

Пакистанські автори зазначають про відсутність інфекційних ускладнень протягом 12 днів після початку ВТ у 85 пацієнтів, 85 % з яких мали судинні ушкодження [34]. Подібні результати отримані також в Індії у випадках вибухових уражень стопи – лише у трьох культурах виявлено бактеріальний ріст без клінічних проявів інфекції [35].

Сучасні бойові поранення, спричинені високоенергетичною зброєю, часто мають деструктивний характер і супроводжуються поєднаними пошкодженнями судин, нервів, кісток та масивними дефектами м'яких тканин. Повноцінна хірургічна обробка ран у таких випадках є критично важливою для збереження кінцівки, однак складною через нестабільність гемодинаміки, значну крововтрату, а в умовах масового надходження поранених – ще й обмеження часу та ресурсів [30,36-38].

Вакуумна терапія розглядається як один із ключових елементів стратегії хірургії контролю по-

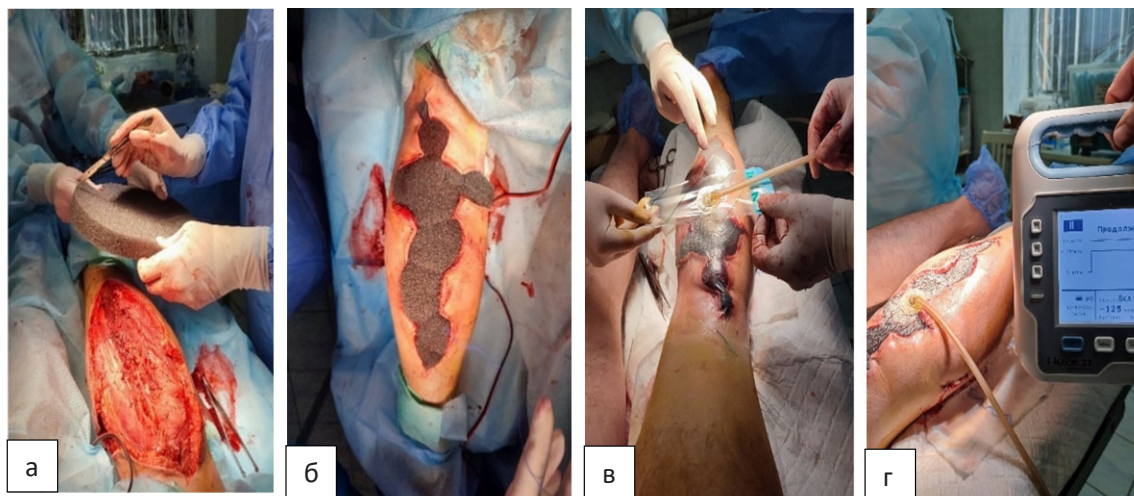


Рисунок 2. Методика накладання вакуумної пов'язки на вогнепальну рану гомілки: а – адаптація губки до розмірів рани за допомогою скальпеля; б – укладання губки в рану; в – герметизація плівкою; г – підключення до портативного вакуумного пристрою

шкоджень (damage control surgery) [39]. У критичних ситуаціях, коли реконструктивні втручання необхідно відтермінувати, ВТ забезпечує тимчасове контрольоване закриття рани, знижує ризик розвитку феномену повторного системного удару (*second-hit phenomenon*) та стабілізує стан пораненого для подальшого етапного хірургічного лікування [40,41]. Клінічні спостереження також підтверджують доцільність застосування ВТ у поєднанні з біодермальними покриттями при складних пораненнях із оголенням кісток та сухожиль [32]. Окремо доведено безпечність і ефективність ВТ під час тривалої аеромедичної евакуації [42].

Слід зазначити, що лише обмежена кількість досліджень присвячена застосуванню ВТ у лікуванні бойової травми. Більшість публікацій ґрунтується на досвіді, отриманому під час бойових дій в Іраку та Афганістані у 2001-2014 роках, коли метод локального впливу негативного тиску почав активно впроваджуватися у військово-польову хірургію. Аналіз літературних даних (2004-2025 рр.) свідчить, що у більшості досліджень ВТ застосовували переважно у складі комплексного хірургічного лікування бойової травми м'яких тканин та при вогнепальних переломах кісток кінцівок. Лише поодинокі публікації (зокрема, Peck, 2007; Geiger, 2008) описують використання ВТ при бойовій травмі судин кінцівок [31,43]. Давність окремих літературних джерел (>5 років) пояснюється тим, що більшість фундаментальних досліджень виконано саме в період активних бойових дій в Іраку та Афганістані. Обмежена кількість сучасних робіт зумовлена складністю проведення багатоцентрових або рандомізованих досліджень у зоні бойових дій, а також обмеженим доступом до клінічних даних. Водночас саме ці публікації залишаються методологічною основою сучасного підходу до застосування ВТ у військово-польовій хірургії.

Проблема лікування тяжкої вогнепальної травми, що супроводжується пошкодженням судин і масивними дефектами м'яких тканин, залишається надзви-

чайно актуальною та значною мірою невирішеною. Під час російсько-української війни спостерігається істотне зростання частоти таких поранень унаслідок широкого застосування FPV-дронів і нових типів боєприпасів. Це підкреслює необхідність оновлення клінічних підходів і розроблення протоколів лікування, адаптованих до сучасних бойових умов.

Вакуумна терапія при бойовій травмі судин кінцівок

Упродовж останніх двох десятиліть спостерігається зростання наукового інтересу до застосування вакуумної терапії (ВТ) у судинній хірургії мирного часу, зокрема в контексті лікування інфекцій судинних протезів – складної клінічної проблеми з високим ризиком ускладнень. Численні дослідження засвідчують ефективність ВТ у збереженні судинних трансплантатів за умови адекватної санації рани, контролю інфекційного процесу та надійного захисту судинного трансплантата [41-48].

Аналогічні умови часто виникають при бойовій травмі магістральних судин кінцівок, коли мікробна контамінація поєднується з масивним дефектом м'яких тканин, а можливості для негайного закриття рани обмежені [5,20,29,33]. ВТ забезпечує підтримання контрольованого вологого мікросередовища, що запобігає пересиханню судинної стінки, знижує ризик агозивної кровотечі та ішемічних ускладнень.

За даними Krug (2011), ВТ покращує перфузію в зоні судинної реконструкції завдяки стимуляції мікроциркуляції та ангиогенезу [20]. Водночас клінічне застосування ВТ при бойовій травмі судин кінцівок супроводжується низкою ризиків, які необхідно враховувати під час вибору лікувальної тактики (таблиця 1).

Основними протипоказаннями до застосування ВТ є [39]:

- Гнійний процес в рані: некротизовані тканини перешкоджають утворенню грануляцій, тому ВТ слід проводити лише після радикальної хірургічної санації;

Таблиця 1

Переваги та недоліки ВТ при бойовій травмі кінцівок

Переваги	Недоліки
Зменшення потреби в частих і болісних перев'язках	Ризик кровотечі при нестійкому гемостазі та/або за відсутності бар'єру між губкою й судинною стінкою, неможливості укриття зони реконструкції життєздатними тканинами [49]
Зменшення навантаження на медичний персонал та витрат перев'язувальних матеріалів	Неефективність при глибокій неконтрольованій інфекції або тяжкій гіперперфузії
Прискорення очищення рани та стимуляція утворення грануляційної тканини	Труднощі герметизації при масивних ранах, сторонніх тілах, кісткових уламках
Ізоляція рани від зовнішнього середовища, зменшення ризику внутрішньолікарняної інфекції	Ризик гетеротопічної осифікації при вибухових пораненнях [25,50]
Зниження розвитку хронічного остеомієліту	Втрата герметичності системи – ймовірність розвитку інфекційних ускладнень
Підвищення шансів на збереження кінцівки	Хибне сприйняття ВТ як альтернативи радикальній хірургічній обробці

- Нестабільний гемостаз, коагулопатії: негативний тиск може спричинити масивну кровотечу;
- Несанований остеомієліт: ВТ не є ефективною без повного видалення джерела інфекції;
- Анаеробна інфекція;
- Індивідуальна непереносимість компонентів ВТ (губки, клею плівки).

Технічні аспекти безпечного застосування ВТ при бойовій травмі судин кінцівок

Безпечне використання ВТ у пацієнтів із пораненнями, що супроводжуються ушкодженням магістральних судин, вимагає суворого дотримання технічних умов, спрямованих на запобігання таким потенційним ускладненням, як арозивна кровотеча, артеріальний тромбоз чи нагноєння рани. Дотримання цих принципів є запорукою ефективного та безпечного застосування ВТ при бойовій травмі судин кінцівок. Згідно з рекомендаціями European Wound Management Association (EWMA, 2017), ключові принципи безпечного застосування ВТ у судинній хірургії включають [51]:

- захист судинного анастомозу полівінілалкогольною (PVA) губкою або силіконовою мембраною, що запобігає безпосередньому контакту негативного тиску з судинною стінкою;
- укріплення магістральних судин м'язовим клаптем, а за відсутності такої можливості – застосування двошарової пов'язки (внутрішній бар'єрний шар – полівініловий або силіконовий, зовнішній – поліуретановий для рівномірного розподілу тиску);

- відстрочене використання розщеплених шкірних трансплантатів до повного контролю інфекції та стабілізації грануляційного процесу;
- підтримку негативного тиску в межах 50-100 мм рт. ст. (постійний режим), що забезпечує ефективний дренаж без порушення мікроциркуляції.

На рисунку 3 представлено технічні аспекти безпечного застосування пов'язки для ВТ, спрямовані на мінімізацію впливу негативного тиску на судинну стінку та профілактику ускладнень. У клінічних настановах European Society for Vascular Surgery (ESVS, 2020) зазначено, що у пацієнтів із інфекцією судинного трансплантата та дефектами м'яких тканин застосування ВТ є доцільним за умови надійного захисту судинної реконструкції, адекватного контролю інфекційного процесу та забезпечення герметичності пов'язки.

Вакуумна терапія (ВТ) є доцільною у поєднанні з радикальною хірургічною обробкою рани, оскільки сприяє прискоренню загоєння, контролю інфекційного процесу в рані та уникненню необхідності вилучення трансплантата [38]. Водночас метод не рекомендований за наявності псевдоаневризми, незахищеного судинного анастомозу або нестабільного гемостазу [52]. З огляду на ці положення, безпечне застосування ВТ при бойовій травмі судин передбачає індивідуальну оцінку ризиків, ретельну ревізію зони судинної реконструкції, створення адекватного бар'єрного шару між судинною стінкою та губкою, а також контроль рівня негативного тиску. Дотри-

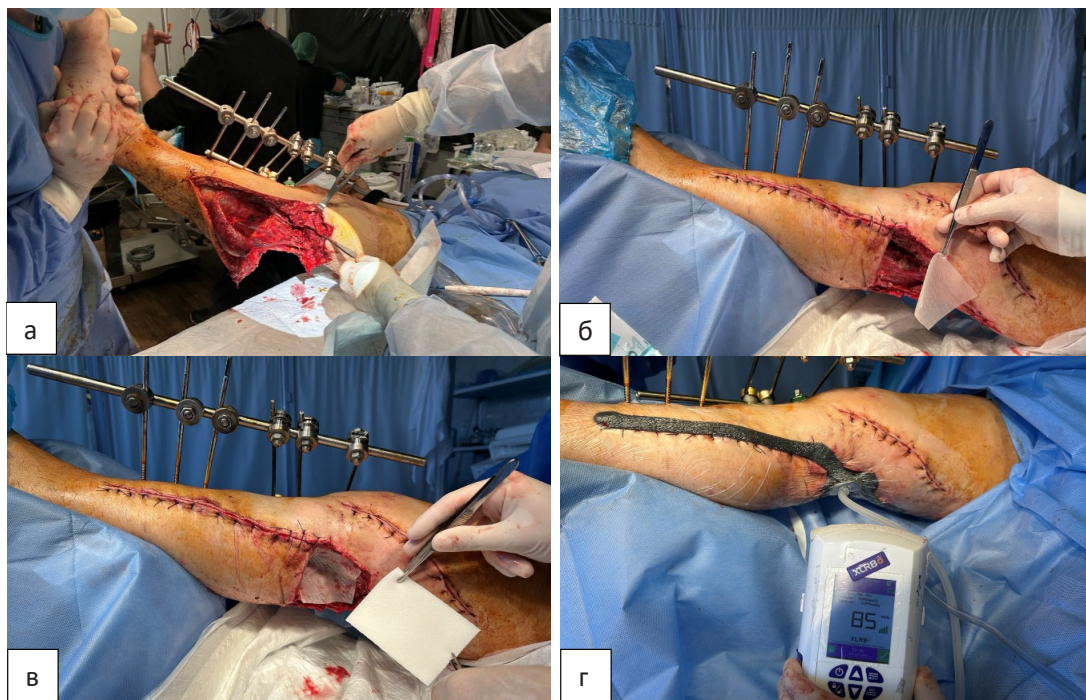


Рисунок 3. Застосування ВТ при пораненні судин підколінної ділянки, що поєднується з дефектом м'яких тканин: а – первинний вигляд рани, виконання повноцінної хірургічної обробки; б – з метою захисту судинно-нервовий пучок укріплено силіконовою сіткою (1-ий шар); в – додатковий захист пучка PVA-губкою (2-ий шар); г – налагодження роботи ВТ у постійному режимі, тиск 85 мм рт. ст.

мання цих принципів забезпечує безпечне використання ВТ навіть у складних клінічних ситуаціях – зокрема, при масивних дефектах м'яких тканин у зоні відновлених магістральних судин після бойової травми. Нижче наведено клінічні спостереження, які демонструють практичне застосування наведених принципів безпечного використання ВТ у лікуванні поранених із бойовою травмою кінцівок, а також ефективність цього методу як складової етапного хірургічного лікування.

Клінічне спостереження 1 (рисунок 4). Пацієнт К., 28 років. 07.02.2024 отримав поранення внаслідок ураження FPV-дроном. Первинна зупинка кровотечі – два турнікети на нижню третину стегна (3 год). 08.02.2024 у стабілізаційному пункті проведено первинну хірургічну обробку ран, лігування підколінної артерії та вени. Того ж дня пацієнта евакуйовано до військового госпіталю (м. Запоріжжя), де відновлено цілісність підколінної артерії та вени за допомогою PTFE-протеза, а також стабілізовано переломи стегнової та великогомілкової кісток за допомогою АЗФ. У зв'язку з розвитком компартмент-синдрому 10.02.2024 виконано некректомію м'язів гомілки.

На 9-ту добу пацієнта евакуйовано до НВМКЦ «ГВКГ» (м. Київ), де виявлено тромбоз підколінної

вени, некроз м'язів гомілки, масивний дефект м'яких тканин. Видалено PTFE-протез, лігують підколінну вену. Розпочато ВТ – двошарова пов'язка, постійний тиск 70-80 мм рт. ст., сеанси по 3-4 доби. На 27-му добу закрито дефект м'яких тканин підколінної ділянки розщепленим шкірно-фасціальним клаптем на перфорантній ніжці.

Загалом виконано 10 оперативних втручань. На 58-му добу пацієнт виписаний для нейрореабілітації та планового ендопротезування колінного суглоба.

Застосування двошарової пов'язки з постійним негативним тиском 70-80 мм рт. ст. дозволило перейти до складних пластичних методик закриття тканинних дефектів над зоною судинної реконструкції після багатоетапних хірургічних обробок.

Клінічне спостереження 2 (рисунок 5). Пацієнт С., 44 роки отримав вогнепальне уламкове поранення правої нижньої кінцівки під час артилерійського обстрілу. Накладено турнікет на нижню третину стегна (≈ 3 год). У польовому госпіталі – хірургічна обробка ран, лігування підколінної та малої підшкірної вен, імобілізація кінцівки.

Діагноз: вибухова травма (28.02.2023), вогнепальне уламкове сліпе поранення підколінної ділянки правої нижньої кінцівки з ушкодженням підколінної

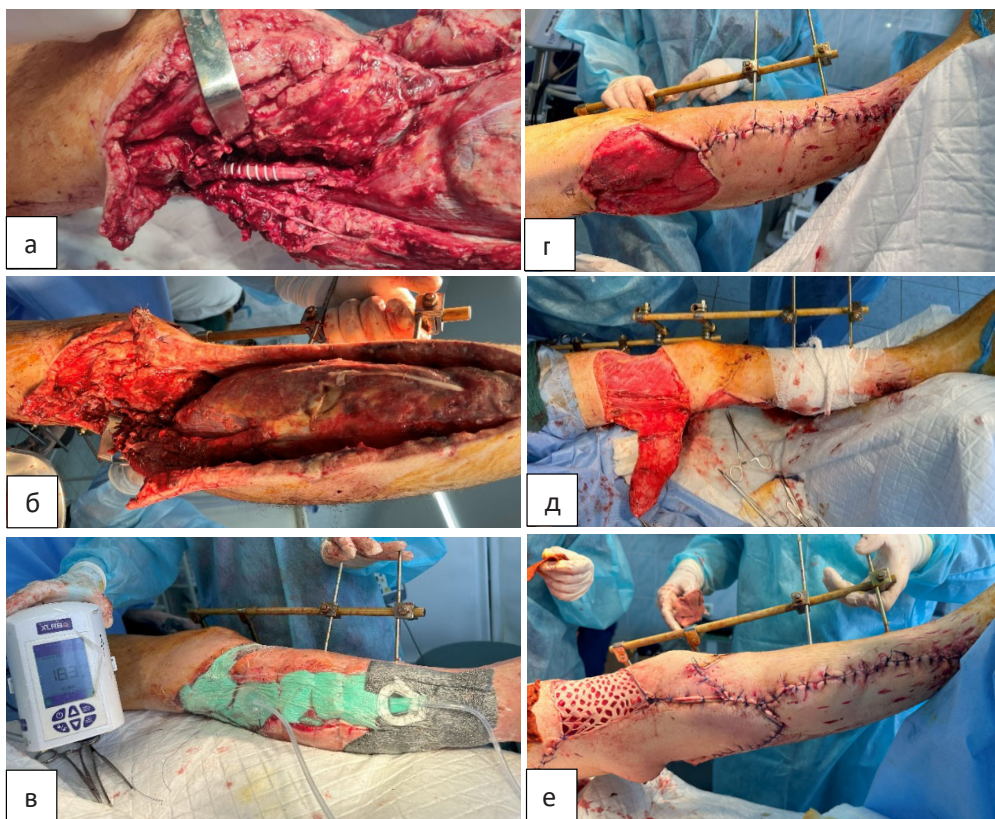


Рисунок 4. Поранений К.: а, б – дефект м'яких тканин та ранева інфекція створюють ризик арозивної кровотечі; в – монтаж вакуумної пов'язки на рану гомілки та підколінної ділянки; г – вигляд рани на 18 добу; д – підготовка шкірно-фасціального клаптя стегна до закриття дефекту підколінної ділянки; е – використання розщепленого вільного клаптя для закриття рани стегна

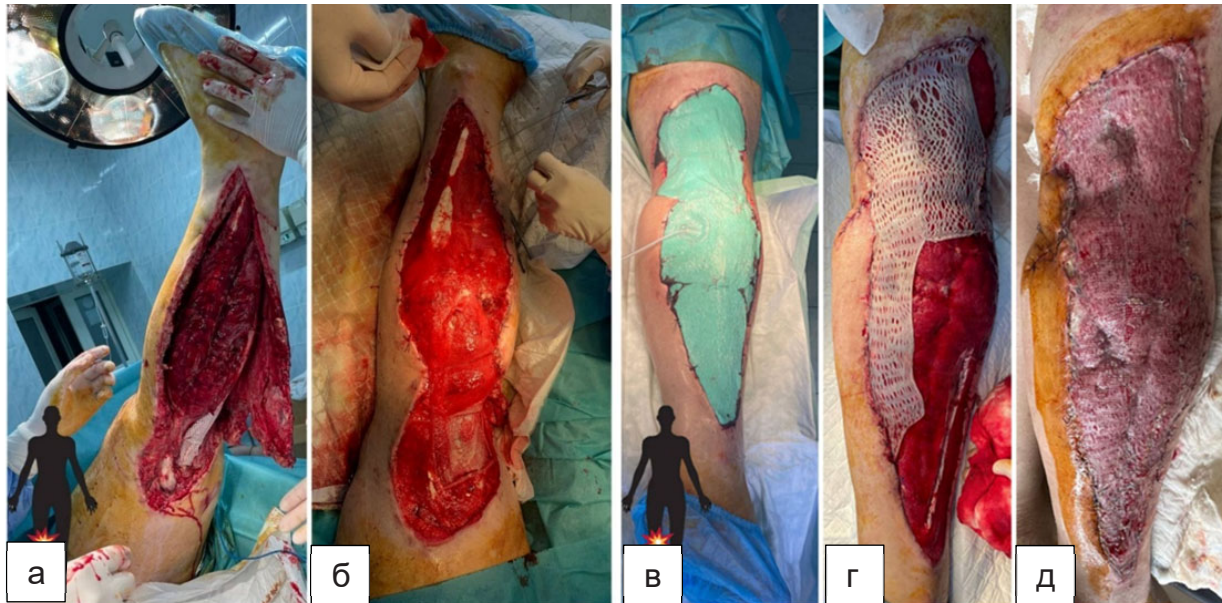


Рисунок 5. Поранений С. а, б – масивний дефект м'яких тканин з ушкодженням підколінної вени; в – сформована вакуумна пов'язка; г – пластика розщепленим перфорованим шкірним клаптем; д – результат лікування на 37 добу.

та малої підшкірної вени, великогомілкового та малогомілкового нервів, з масивним дефектом м'яких тканин підколінної ділянки та задньої поверхні гомілки, турнікетний синдром, гостре пошкодження нирок.

З 2-ї по 8-му добу лікувався у медичному закладі м. Дніпро: повторні хірургічні обробки, 3 сеанси ВТ, замісна ниркова терапія. На 8 добу переведений до НВМКЦ «ГВКГ» (м. Київ), де проведено 8 сеансів ВТ (3-4 доби, тиск 75-100 мм рт. ст., постійний режим) з використанням двошарової пов'язки. На 32 добу виконано аутодермопластику перфорованим розщепленим клаптем. На 37 добу пацієнт виписаний зі стаціонару для нейрореабілітації.

Багатоетапне застосування ВТ із дотриманням принципів безпеки сприяло очищенню рани, формуванню грануляційної тканини та успішному використанню аутодермопластики без ускладнень.

Представлені клінічні спостереження підтверджують доцільність і безпечність застосування ВТ при бойовій травмі магістральних судин кінцівок за умов суворого дотримання технічних принципів методу.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження мають бути зосереджені на розробленні уніфікованих клінічних протоколів із чітким визначенням показань до застосування вакуумної терапії (ВТ), оптимальних режимів негативного тиску, вибору матеріалів та методів захисту судинної стінки. Такі протоколи повинні бути адаптовані до умов сучасних воєнних конфліктів і враховувати не лише клінічні аспекти, а й організаційно-логістичні чинники надання медичної допомоги у зоні бойових дій.

Висновки

1. ВТ є дієвим компонентом хірургічного менеджменту бойових поранень кінцівок, зокрема при ушкодженні магістральних судин. Її застосування сприяє зниженню частоти інфекційних ускладнень, стимулює утворення грануляційної тканини та прискорює закриття ранових дефектів.
2. ВТ зменшує потребу у частих перев'язках, забезпечує герметизацію рани під час евакуації та знижує навантаження на медичний персонал, що є критично важливим в умовах бойових дій.
3. Рішення про застосування ВТ має ухвалюватися індивідуально – з урахуванням локалізації, типу ушкодження, глибини рани, надійності гемостазу, а також факторів ризику (гостре пошкодження нирок, масивний дефект тканин, вогнепальний перелом, тривала ішемія).
4. Безпечне застосування ВТ при судинній травмі потребує надійного захисту анастомозу та уникнення прямого контакту губки з судинною стінкою. Цим вимогам відповідає двошарова пов'язка з бар'єрним прошарком (внутрішній – PVA-губка або силіконова сітка, зовнішній – поліуретанова губка) та обов'язковим дотриманням постійного режиму негативного тиску в межах 50-100 мм рт. ст.
5. Подальша розробка клінічних алгоритмів безпечного застосування ВТ при бойових ушкодженнях магістральних судин, визначення провідних факторів ризику розвитку арозивних кровотеч і оптимальних методів пластичного закриття тканинних дефектів у зоні судинної реконструкції є одним із ключових завдань сучасної військово-польової хірургії.

Конфлікт інтересів. Автори підтверджують відсутність фактичного чи потенційного конфлікту інтересів, пов'язаного з результатами цієї роботи. Зокрема, автори не мають фінансових або інших зв'язків із фармацевтичними компаніями, виробниками біомедичних пристроїв чи іншими організаціями, продукти, послуги або фінансова підтримка яких могли б бути пов'язані з предметом дослідження чи вплинути на його результати.

Дотримання етичних норм. Автори засвідчують, що дослідження проводилося з використанням даних первинної медичної документації. Роботу виконано відповідно до етичних принципів, викладених у Гельсінській декларації Всесвітньої медичної асоціації (WMA) щодо проведення медичних досліджень за участю людини, Директиви Європейського товариства 86/609/ЄЕС про участь людей у медико-біологічних дослідженнях, а також Наказу Міністерства охорони здоров'я України № 690 від 23.09.2009 р.

Дослідження схвалене Комісією з питань біоетичної експертизи та етики наукових досліджень Національного медичного університету імені О.О. Богомольця (протокол № 195 від 26.05.2025 р.).

Використання штучного інтелекту. Автори рукопису свідомо засвідчують використання інструменти генеративного штучного інтелекту у процесі підготовки цього рукопису. Відповідно до Таксономії делегування завдань генеративному штучному інтелекту (GAIDeT, 2025 р.), за повного людського нагляду було делеговано завдання з вичитування, реда-

гування, та перекладу. Для цього використовувався ChatGPT-5 (OpenAI, версія від червня 2025 р.). Усі результати, отримані за допомогою цього інструмента, були ретельно перевірені, відредаговані та затверджені авторами, які несуть повну відповідальність за зміст і висновки публікації. Інструменти генеративного штучного інтелекту не зазначаються як автори та не несуть відповідальності за кінцеві результати. Ця декларація не поширюється на використання базових інструментів перевірки граматики, орфографії чи оформлення посилань.

Первинні дані та матеріали. Автори рукопису свідомо засвідчують, що у роботі використано результати власних клінічних досліджень, що були систематизовані та проаналізовані авторами. Первинні дані включають узагальнені показники пацієнтів, лабораторні результати, протоколи та отримані кількісні характеристики. Всі матеріали збережені в архіві дослідницької групи та можуть бути надані за обґрунтованим запитом до автора-кореспондента, з урахуванням вимог конфіденційності та етичних норм.

Фінансування. Дослідження виконано в межах дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD) за темою «Вакуумна терапія у комплексному хірургічному лікуванні поранених з бойовою травмою судин кінцівок», яка входить до плану наукових досліджень Національного медичного університету імені О.О. Богомольця.

Спеціального фінансування дослідження чи публікації не отримувалося.

Список використаної літератури

References

1. White JM, Stannard A, Burkhardt GE, Eastridge BJ, Blackburn LH, Rasmussen TE. The epidemiology of vascular injury in the wars in Iraq and Afghanistan. *Ann Surg*. 2011 Jun;253(6):1184–9. <https://doi.org/10.1097/sla.0b013e31820752e3>
2. Chandler H, MacLeod K, Penn-Barwell JG, Bennett PM, Fries CA, Kendrew JM, et al. Extremity injuries sustained by the UK military in the Iraq and Afghanistan conflicts: 2003–2014. *Injury*. 2017 Jul;48(7):1439–43. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.05.022>
3. Ran Y, Mitchnik I, Gendler S, Avital G, Radomislensky I, Bodas M, et al. Isolated limb fractures – the underestimated injury in the Israeli Defence Forces (IDF). *Injury*. 2023 Feb;54(2):490–6. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.11.014>
4. Klausner MJ, McKay JT, Bebartha VS, Naylor JF, Fisher AD, Isherwood KD, et al. Warfighter personal protective equipment and combat wounds. *Med J Fort Sam Houst Tex*. 2021;PB 8-21-04/05/06:72–7.
5. Brown KV, Ramasamy A, Tai N, MacLeod J, Midwinter M, Clasper JC. Complications of extremity vascular injuries in conflict. *J Trauma*. 2009 Apr;66(4 Suppl):S145–9. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e318191cdd82>
6. Clouse WD, Rasmussen TE, Peck MA, Eliason JL, Cox MW, Bowser AN, et al. In-theater management of vascular injury: 2 years of the Balad Vascular Registry. *J Am Coll Surg*. 2007 Apr;204(4):625–32. <https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2007.01.040>
7. Hinck D, Franke A, Gatzka F. Use of vacuum-assisted closure negative pressure wound therapy in combat-related injuries. *Mil Med*. 2010 Mar;175(3):173–81. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-09-00075>
8. Maurya S, Bhandari PS. Negative pressure wound therapy in the management of combat wounds: a critical review. *Adv Wound Care*. 2016 Sep;5(9):379–89. <https://doi.org/10.1089/wound.2014.0624>
9. Zarutskyi Y, Aslanyan S, Kravchenko K, Vovk M, Honcharuk V. The use of negative pressure vacuum therapy in the treatment of soft tissue defects in thoracic injury. *Nor J Dev Int Sci*. 2021;1(59):17–23. <https://doi.org/10.24412/3453-9875-2021-59-1-17-23>
10. Joint trauma system clinical practice guideline. War wounds: debridement and irrigation (CPG ID:31). 2021 Sep 21. Available from: https://jts.health.mil/assets/docs/cpgs/War_Wounds_Debridement_and_Irrigation_27_Sep_2021_ID31.pdf
11. Zarutskyi Y, Aslanyan S, Plis I, Kompaniets A, Goncharuk V. Application of NPWT in the surgical treatment of wounds and injuries of various locations: case series. *Negat Press Ther J*. 2018 Sep;5(3):10–3. <https://doi.org/10.18487/npwtj.v5i3.44>

12. Strilka RJ, Gavitt BJ, Proctor M, Klein AA, Anderson MO. Critical care air transport clinical practice guideline (CCATT CPG): negative pressure wound therapy during critical care air transport. 2025 Feb 26. Available from: https://jts.health.mil/assets/docs/cpgs/NPWT_CCATT_26_Feb_2025.pdf
13. Saxena V, Hwang CW, Huang S, Eichbaum Q, Ingber D, Orgill DP. Vacuum-assisted closure: microdeformations of wounds and cell proliferation. *Plast Reconstr Surg.* 2004 Oct;114(5):1086–96. <https://doi.org/10.1097/01.prs.0000135330.51408.97>
14. Morykwas MJ, Argenta LC, Shelton-Brown EI, McGuirt W. Vacuum-assisted closure: a new method for wound control and treatment. *Ann Plast Surg.* 1997 Jun;38(6):553–62. <https://doi.org/10.1097/00000637-199706000-00001>
15. Lambert KV, Hayes P, McCarthy M. Vacuum assisted closure: a review of development and current applications. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2005 Mar;29(3):219–26. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2004.12.017>
16. Stannard JP, Volgas DA, Stewart R, McGwin G, Alonso JE. Negative pressure wound therapy after severe open fractures: a prospective randomized study. *J Orthop Trauma.* 2009 Sep;23(8):552–7. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e3181a2e2b6>
17. Huang C, Leavitt T, Bayer LR, Orgill DP. Effect of negative pressure wound therapy on wound healing. *Curr Probl Surg.* 2014 Jul;51(7):301–31. <https://doi.org/10.1067/j.cpsurg.2014.04.001>
18. Téot L, Apelqvist J, Fagerdahl A, Willy C. Negative pressure wound therapy: an update for clinicians and outpatient caregivers. *J Wound Manag.* 2024;25(2):1–56. <https://doi.org/10.35279/jowm2024.25.02.sup01>
19. Білий В., Заруцький Я., Собко І., Гуменюк К., Король С., Асланян С. Вакуумні пов'язки в лікуванні ран м'яких тканин при бойовій хірургічній травмі [Vacuum dressings in the treatment of soft tissue wounds in combat surgical trauma] [Internet]. Київ: Людмила [Liudmyla]; 2023 [cited 2025 May 22]. 39 p. Available from: <https://emed.library.gov.ua/medytsyna-voiennoho-i-povoiennoho-chasu/vakuumni-poviazky-v-likuvanni-ran-miakykh-tkanyyn-pry-boyoviy-khkirurhichniy-travmi-2/>
20. Krug E, Berg L, Lee C, Hudson D, Birke-Sorensen H, Depoorter M, et al. Evidence-based recommendations for the use of negative pressure wound therapy in traumatic wounds and reconstructive surgery: steps towards an international consensus. *Injury.* 2011 Feb;42 Suppl 1:S1–12. [https://doi.org/10.1016/S0020-1383\(11\)00041-6](https://doi.org/10.1016/S0020-1383(11)00041-6)
21. Cuomo R, Grimaldi L, Nisi G, Zerini I, Giardino FR, Brandi C. Ultraportable devices for negative pressure wound therapy: first comparative analysis. *J Investig Surg.* 2019;34(3):335–43. <https://doi.org/10.1080/08941939.2019.1616009>
22. Cuomo R, Giardino FR, Nisi G, et al. Fat graft for reducing pain in chronic wounds. *Wound Repair Regen.* 2020;28:780–8. <https://doi.org/10.1111/wrr.12846>
23. Normandin S, Safran T, Winocour S, et al. Negative pressure wound therapy: mechanism of action and clinical applications. *Semin Plast Surg.* 2021;35(3):164–70. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1731792>
24. Brown KV, Murray CK, Clasper JC. Infectious complications of combat-related mangled extremity injuries in the British military. *J Trauma.* 2010 Jul;69 Suppl 1:S109–15. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181e4b33d>
25. Seth I, Gibson D, Lim B, Cevik J, Bulloch G, Xie Y, Marcaccini G, Rozen WM, Cuomo R. Advancements, applications, and safety of negative pressure wound therapy: a comprehensive review of its impact on wound outcomes. *Plast Aesthet Res.* 2024;11:29. <https://doi.org/10.20517/2347-9264.2024.05>
26. Saunders C, Nherera LM, Horner A, Trueman P. Single-use negative-pressure wound therapy versus conventional dressings for closed surgical incisions: systematic literature review and meta-analysis. *BJS Open.* 2021;5(1):zraa003. <https://doi.org/10.1093/bjsopen/zraa003>
27. James K, Glasswell A, Costa B. Single-use negative pressure wound therapy versus conventional dressings for the reduction of surgical site infections in closed surgical incisions: systematic literature review and meta-analysis. *Am J Surg.* 2024;228:70–7. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2023.10.031>
28. Grant-Freemantle MC, Ryan EJ, Flynn SO, et al. The effectiveness of negative pressure wound therapy versus conventional dressing in the treatment of open fractures: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Trauma.* 2020;34(5):223–30. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001750>
29. Department of the Army, Office of The Surgeon General. Soft-tissue injuries. In: *Emergency war surgery: third United States revision*. 3rd ed. Washington (DC): Walter Reed Army Medical Center, Borden Institute; 2004. p.102–3.
30. Leininger BE, Rasmussen TE, Smith DL, Jenkins DH, Coppola C. Experience with wound VAC and delayed primary closure of contaminated soft tissue injuries in Iraq. *J Trauma.* 2006 Nov;61(5):1207–11. <https://doi.org/10.1097/01.ta.0000241150.15342.da>
31. Peck MA, Clouse WD, Cox MW, Bowser AN, Eliason JL, Jenkins DH, et al. The complete management of extremity vascular injury: a wartime report from the 332nd Expeditionary Medical Group. *J Vasc Surg.* 2007 Jun;45(6):1197–204. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2007.02.003>
32. Helgeson MD, Potter BK, Evans KN, Shawen SB. Bioartificial dermal substitute: a preliminary report on its use for the management of complex combat-related soft tissue wounds. *J Orthop Trauma.* 2007 Jul;21(6):394–9. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e318070c028>
33. Machen S. Management of traumatic war wounds using vacuum-assisted closure dressings in an austere environment. *US Army Med Dep J.* 2007;17–23.
34. Mansoor J, Ellahi I, Junaid Z, Habib A, Ilyas U. Clinical evaluation of improvised gauze-based negative pressure wound therapy in military wounds. *Int Wound J.* 2015 Oct;12(5):559–63. <https://doi.org/10.1111/iwj.12164>
35. Maurya S, Srinath N, Bhandari PS. Negative pressure wound therapy in the management of mine blast injuries of lower limbs: lessons learnt at a tertiary care center. *Med J Armed Forces India.* 2017 Oct;73(4):321–7. <https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2016.06.002>

36. Back DA, Scheuermann-Poley C, Willy C. Recommendations on negative pressure wound therapy with instillation and antimicrobial solutions: when, where and how to use—what does the evidence show? *Int Wound J*. 2013;10 Suppl 1:32–42. <https://doi.org/10.1111/iwj.12183>
37. Silverman RP. Negative pressure wound therapy with instillation and dwell time: mechanisms of action literature review. *Eplasty*. 2023 Aug;23. Available from: <https://www.hmpgloballearningnetwork.com/site/eplasty/review/negative-pressure-wound-therapy-instillation-and-dwell-time-mechanisms-action>
38. Chakfé N, Diener H, Lejay A, Assadian O, Berard X, Caillon J, et al. European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2020 clinical practice guidelines on the management of vascular graft and endograft infections. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2020 Mar;59(3):339–84. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2019.10.016>
39. Quacinella MA, Yong TM, Obremskey WT, Stinner DJ. Negative pressure wound therapy: where are we in 2022? *OTA Int*. 2023 Jul;6(4 Suppl):e247. <https://doi.org/10.1097/OI9.0000000000000247>
40. Mayer D, Hasse B, Koelliker J, Enzler M. Long-term results of vascular graft and artery preserving treatment with negative pressure wound therapy in Szilagyi grade III infections justify a paradigm shift. *Ann Surg*. 2011 Nov;254(5):754–60. <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3182359a9c>
41. Monsen C, Acosta S, Mani K, Wann-Hansson C. A randomised study of NPWT closure versus alginate dressings in peri-vascular groin infections: quality of life, pain and cost. *J Wound Care*. 2015 Jun;24(6):252–6. <https://doi.org/10.12968/jowc.2015.24.6.252>
42. Fang R, Dorlac WC, Flaherty SF, Tuman C, Cain SM, Popey TL, et al. Feasibility of negative pressure wound therapy during intercontinental aeromedical evacuation of combat casualties. *J Trauma*. 2010 Jul;69 Suppl 1:S140–5. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181e452a2>
43. Geiger S, McCormick F, Chou R, Wandel AG. War wounds: lessons learned from Operation Iraqi Freedom. *Plast Reconstr Surg*. 2008 Jul;122(1):146–53. <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e3181773d19>
44. Matatov T, Reddy KN, Doucet LD, Zhao CX, Zhang WW. Experience with a new negative pressure incision management system in prevention of groin wound infection in vascular surgery patients. *J Vasc Surg*. 2013 Mar;57(3):791–5. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2012.09.037>
45. Lang W, Horch RE. Distal extremity reconstruction for limb salvage in diabetic foot ulcers with pedal bypass, flap plasty and vacuum therapy. *Zentralbl Chir*. 2006 Apr;131 Suppl 1:S146–50. <https://doi.org/10.1055/s-2006-921472>
46. Kotsis T, Lioupis C. Use of vacuum assisted closure in vascular graft infection confined to the groin. *Acta Chir Belg*. 2007;107(1):37–44. <https://doi.org/10.1080/00015458.2007.11680008>
47. Dosluoglu HH, Schimpf DK, Schultz R, Cherr GS. Preservation of infected and exposed vascular grafts using vacuum assisted closure without muscle flap coverage. *J Vasc Surg*. 2005 Nov;42(5):989–92. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2005.07.006>
48. Berger P, de Bie D, Moll FL, de Borst GJ. Negative pressure wound therapy on exposed prosthetic vascular grafts in the groin. *J Vasc Surg*. 2012 Sep;56(3):714–20. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2012.02.007>
49. Li Z, Yu A. Complications of negative pressure wound therapy: a mini review. *Wound Repair Regen*. 2014;22:457–61. <https://doi.org/10.1111/wrr.12190>
50. Forsberg JA, Pepek JM, Wagner S, Wilson K, Flint J, Andersen RC, et al. Heterotopic ossification in high-energy wartime extremity injuries: prevalence and risk factors. *J Bone Joint Surg Am*. 2009 May;91(5):1084–91. <https://doi.org/10.2106/JBJS.H.00792>
51. Apelqvist J, Willy C, Fagerdahl AM, et al. EWMA Document: Negative Pressure Wound Therapy. *J Wound Care*. 2017;26(Sup3):S1–154. <https://doi.org/10.12968/jowc.2017.26.Sup3.S1>
52. Sumpio BE, Allie DE, Horvath KA, Marston WA, Meites HL, Mills JL, et al. Role of negative pressure wound therapy in treating peripheral vascular graft infections. *Vascular*. 2008;16(4):194–200. <https://doi.org/10.2310/6670.2008.00041>

NPWT in Complex Surgical Management of Combat Vascular Injuries of the Limbs: Fundamentals of Safe Application and Clinical Experience

Iurii Iu. Sivash^{1,2}, Boris M. Koval^{1,2}

¹National Military Medical Clinical Center “Main Military Clinical Hospital”, Kyiv, Ukraine

²Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Abstract

Introduction. Combat vascular injury of the limbs represents one of the most complex categories of trauma. Such injuries are rarely isolated and are often accompanied by extensive soft-tissue defects and microbial contamination, leading to severe complications such as thrombosis and erosive bleeding. Their treatment remains challenging, prolonged, and frequently results in limb loss. Negative pressure wound therapy (NPWT) has proven to be an effective method for managing complex gunshot wounds in combat conditions; however, evidence on its safe application in vascular limb trauma remains limited.

Aim. To analyze theoretical and practical aspects of the safe use of NPWT in combat-related injuries of major limb vessels and to determine the indications, contraindications, and optimal technical parameters for its application.

Materials and Methods. A comparative analysis of published data and clinical observations was performed, including cases of combat vascular injury of the lower limbs with associated soft-tissue defects where NPWT was used as part of staged surgical management.

Results. Key indications, contraindications, and principles for safe NPWT use in vascular surgery were defined. The application of a two-layer dressing with a protective interface and continuous negative pressure of 70–80 mmHg ensured procedural safety in vascular reconstruction zones, promoted rapid wound cleansing and granulation, and enabled successful delayed closure using skin-grafting techniques.

Conclusions. NPWT is an effective adjunct in the complex surgical management of combat vascular limb injuries combined with soft-tissue loss. Safe application requires reliable protection of the vascular anastomosis, maintenance of continuous negative pressure, and individualized risk assessment. Further research should focus on developing unified clinical protocols for NPWT in combat vascular trauma, including reliable vessel protection methods and prevention of procedure-related complications.

Keywords: *extremity major vascular injuries, negative pressure wound therapy, NPWT, wound infection, hemorrhage, war in Ukraine.*

Стаття надійшла в редакцію / Received: 29.07.2025

Після доопрацювання / Revised: 30.10.2025

Прийнято до друку / Accepted: 11.11.2025