

OPEN ACCESS

DOI: 10.25040/ntsh2025.01.07

Адреса для листування: Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, вул. Пекарська 69, Львів, 79010, Україна

E-mail: jhortrutiak@yahoo.com

Надійшла до редакції: 07.02.2025

Взята до друку: 03.03.2025

Опублікована: 20.06.2025

ORCID IDs

Ігор Трутяк:

<https://orcid.org/0000-0001-8157-3449>

Володимир Жуковський:

<https://orcid.org/0000-0002-0594-5316>

Віктор Ловга:

<https://orcid.org/0009-0002-8966-936X>

Віталій Іващенко:

<https://orcid.org/0000-0002-4132-1447>

Василь Трунквальтер:

<https://orcid.org/0000-0002-4007-0041>

Остап Кудла:

<https://orcid.org/0009-0007-7220-1193>

Конфлікт інтересів: автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Внески авторів

Концептуалізація: Ігор Трутяк;

Результати дослідження: Володимир Жуковський, Віктор Ловга, Віталій Іващенко, Василь Трунквальтер, Остап Кудла;
Остаточне затвердження версії для публікації: Ігор Трутяк, Володимир Жуковський, Віктор Ловга, Віталій Іващенко.

Етичне схвалення: дослідження схвалене Комісією з питань біоетики наукових досліджень, експериментальних розробок та наукових робіт ЛНМУ. Протоколи схвалення № 9 та № 11 від 19.12.2022.

Фінансування: автори декларують відсутність фінансової підтримки.



© Всі автори, 2025

**МІСЦЕВІ ІНФЕКЦІЙНІ УСКЛАДНЕННЯ
ВІДКРИТИХ ПЕРЕЛОМІВ КІСТОК
НИЖНІХ КІНЦІВОК ПРИ БОЙОВІЙ
І НЕБОЙОВІЙ ТРАВМІ**

Ігор Трутяк¹, Володимир Жуковський¹, Віктор Ловга²,
Віталій Іващенко¹, Василь Трунквальтер¹, Остап Кудла¹

¹Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, Львів, Україна
²Військово-медичний клінічний центр Західного регіону, Львів, Україна

Інфекційні ускладнення при відкритих переломах кісток кінцівок у цивільному житті (небойова травма) виникають у 27-30% пацієнтів, а при бойовій травматизації – у 34-75%. Швидке поширення мультирезистентних бактерій та значне зниження ефективності антибіотиків становлять серйозну загрозу втрати кінцівки або навіть життя пацієнта.

У цьому дослідженні проаналізовані причини і методи лікування ранової інфекції у 96 пацієнтів з відкритими переломами стегна і відкритими переломами гомілки, серед яких 27 отримали травму у цивільному житті, а 69 – бойову травму. Причинами нагноєння ран при бойовій травматизації були: високоенергетична травма, цукровий діабет і анемія як наслідок супутніх захворювань. Терміни надходження поранених з бойовими травмами на рівень надання спеціалізованої і високоспеціалізованої медичної допомоги в середньому становили 4 дні і у всіх пацієнтів рани вже були інфіковані. Чинниками ризику інфекційних ускладнень відкритих переломів кісток у військових зазвичай були: особливості ранового каналу при вогнепальному пораненні ви-

сокоенергетичною кулею, мінно-вибухові та поєднані бойові поранення, запізніле надання кваліфікованої медичної допомоги і запізніла евакуація на вищий рівень надання медичної допомоги у зв'язку з оперативно-тактичною ситуацією під час бойових дій. Лікування охоплювало: стабілізацію перелому апаратом зовнішньої фіксації, етапні дебрідменти рани, терапію негативним тиском, застосування спейсерів, антибіотикотерапію. За антибактерійною активністю ефективними проти грам-негативної мікрофлори були коломіцин і поліміксин В, а проти грам-позитивної – ванкоміцин. Зменшення ризиків розвитку і прогресування ранової інфекції було досягнуто завдяки своєчасній і адекватній хірургічній обробці рани, фасціотомії для запобігання компартмент-синдрому, стабілізації перелому апаратом зовнішньої фіксації, терапії негативним тиском, корекції анемії і білкового обміну та антибіотикотерапії відповідно до чутливості ранової мікрофлори.

Ключові слова: відкриті переломи кісток, ранова інфекція, дебрідмент, терапія ран негативним тиском.

LOCAL INFECTIOUS COMPLICATIONS OF THE LOWER EXTREMITY OPEN FRACTURES IN COMBAT AND NON-COMBAT TRAUMA

Ihor Trutyak^{1,2}, Volodymyr Zhukovskiy¹, Victor Lovga², Vitaliy Ivashchenko¹, Vasyl Trunkvalter¹, Ostap Kudla¹

¹Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine

²Military Medical Clinical Center of the Western Region, Lviv, Ukraine

Infectious complications with open limb bone fractures occur in 27–30% in *peaceful life* and 34–75% in combat trauma. The rapid spread of multiresistant bacteria and the significant reduction in the effectiveness of antibiotics pose a serious risk of limb loss or even the patient's life. The causes and treatment of wound infection in 96 patients with open hip and tibia fractures were analyzed, including 27 injured in *peaceful life* and 69 combat-injured patients. The causes of wound infections in non-combat injuries were high-energy trauma, diabetes mellitus, and anemia due to concomitant diseases. The terms of admission of the wounded with combat injuries to the level of specialized and highly specialized medical care were 4 days on average, and all of them had infected wounds. Risk factors for infectious complications of open bone fractures in military patients were the features of the wound channel in the case of high-energy bullet, mine-explosive and combined injuries, delayed qualified medical care, and delay in evacuation to a higher level of medical care in connection with the tactical situation during hostilities. Treatment included external fixation devices for fracture stabilization, staged wound debridement, negative pressure wound therapy, the use of spacers, and antibiotic therapy. Colomycin and polymyxin B were effective against gram-negative bacteria, while vancomycin targeted gram-positive bacteria. Early and adequate surgical debridement, fasciotomy to prevent compartment syndrome, fracture stabilization using an external fixation device, negative pressure wound therapy, correction of anemia and protein metabolism, and antibiotic therapy according to the sensitivity of wound microflora can reduce the risks of the development and progression of wound infection.

Keywords: pulmonary sarcoidosis, systemic vasculitis, diagnosis, immunosuppressive therapy.

OPEN ACCESS

DOI: 10.25040/ntsh2025.01.07

For correspondence: Danylo Halytsky
Lviv National Medical University, 69
Pekarska Street, Lviv, Ukraine, 79010.

E-mail: ihortrutyak@yahoo.com

Received: Feb 07, 2025

Accepted: Mar 3, 2025

Published: Jun 20, 2025

ORCID IDs

Ihor Trutyak:

<https://orcid.org/0000-0001-8157-3449>

Volodymyr Zhukovskiy:

<https://orcid.org/0000-0002-0594-5316>

Victor Lovga:

<https://orcid.org/0009-0002-8966-936X>

Vitaliy Ivashchenko:

<https://orcid.org/0000-0002-4132-1447>

Vasyl Trunkvalter:

<https://orcid.org/0000-0002-4007-0041>

Ostap Kudla:

<https://orcid.org/0009-0007-7220-1193>

Conflict of Interest: The authors declared no Conflict of Interest.

Authors' Contributions

Conceptualization: Ihor Trutyak;

Results of the study: Volodymyr Zhukovskiy, Victor Lovga, Vasyl Trunkvalter, MD, Ostap Kudla;

Writing: Ihor Trutyak, Vitaliy Ivashchenko;

Review & Editing: Ihor Trutyak, Victor Lovga, Vitaliy Ivashchenko.

Ethical approval: Protocol No. 9, dated December 19, 2022, and Protocol No. 11, were approved by the Committee on Bioethics of Scientific Research, Experimental Development and Scientific Works of LNMU

Funding: The authors received no financial support.



© All authors, 2025

Вступ

Інфекційні ускладнення при переломах кісток кінцівок є суттєвими ускладненнями, які можуть призвести до постійної втрати функції кінцівки, а у 3% пацієнтів – до її ампутації [1-3]. Частота місцевої інфекції при закритих переломах кісток, отриманих у цивільному житті, становить 1.8%, а при відкритих – 27-30% [4, 5].

Однак при бойовій травмі кінцівок, уже при первинній госпіталізації у стаціонар, 34% поранених мали ранову інфекцію, і найбільш частими її збудниками були *Enterococcus faecium*, *Pseudomonas aeruginosa*, *MDR Acinetobacter spp.* і *ESBL-producing Escherichia coli* [6]. За результатами дослідження групи фахівців, створеної для вивчення інфекційних ускладнень у поранених під час війни в Іраку та Афганістані (TIDOS), найбільшу кількість інфекцій (57%) мали пацієнти з ампутаціями кінцівок, а поранені з відкритими переломами – 17% [7]. У сучасній війні гнійно-септичні ускладнення вогнепальних поранень виникають у 50-75% поранених [8], що у 32.1% випадків спричиняє незадовільні результати лікування вогнепальних переломів [9].

Тривожною є також інформація про те, що дедалі частіше ранові інфекційні ускладнення спричинені полірезистентними патогенами, такими як *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella spp.*, *Acinetobacter spp.*, *Enterobacter aerogenes* і *Enterococcus faecalis*, які є нечутливими до більшості класів антибіотиків [10-12]. Швидке поширення мультирезистентних бактерій та значне зниження ефективності антибіотиків збільшують ризик неадекватної стартової антибіотикотерапії і становлять серйозну загрозу для життя пацієнтів [13]. Прогресивна ранова інфекція з розвитком септичного стану у 1.5% поранених була причиною вторинної ампутації кінцівки на рівні спеціалізованої медичної допомоги [14].

Мета дослідження – проаналізувати причини інфекційних ускладнень відкритих переломів кісток нижніх кінцівок III ступеня за класифікацією Gustilo – Anderson при бойових і небойових травмах та окреслити профілактичні заходи поширення ранової інфекції.

Матеріал і методи

Під нашим спостереженням з 2023 року по грудень 2024 року перебували 96 пацієнтів (87 чоловіків і 9 жінок) з відкритими переломами стегна і відкритими переломами гомілки. У всіх пацієнтів перелом був спричинений високоенергетичною травмою: у 27 – за різних обставин у цивільному житті; у 69 – під час бойових дій. Середній вік пацієнтів становив 41 ± 7 років. Серед механізмів небойових травм були: дорожньо-транспортні пригоди (14 осіб, 51.9%), падіння з висоти (6 осіб, 22.2%), побутова травма (5 осіб, 18.5%) і виробнича травма (2 особи, 7.4%). Механізмом вогнепальних переломів стегна і гомілки були осколкові поранення (34 особи, 49.3%), мінно-вибухові поранення (23 особи, 33.3%) і кульові поранення (12 осіб, 17.3%). 17 осіб (24.6%) мали множинні вогнепальні переломи однієї нижньої кінцівки, у 41 особи (59.4%) – множинні вогнепальні переломи двох і більше кінцівок, а в 11 осіб (15.9%) – вогнепальні переломи з пошкодженням магістральних судин і нервів. Всі поранені мали відкриті переломи III ступеня за класифікацією Gustilo–Anderson. У 49 (71%) постраждалих була виявлена анемія, спричинена крововтратою, і потребувала замінної терапії. Терміни надходження поранених на II рівень надання медичної допомоги (кваліфікована медична допомога) залежали від оперативної-тактичної ситуації на фронті. Інтенсивність бойових зіткнень часто не давала змоги вчасно евакуювати пораненого на вищий рівень медичної допомоги. Тому терміни надходження поранених на рівень спеціалізованої і високоспеціалізованої медичної допомоги були занадто довготривали і в середньому становили чотири дні.

Результати

Усі пацієнти з відкритими переломами гомілки внаслідок небойових травм були взяті на стаціонарне лікування з ранами, забрудненими мікробами. Відповідно до рекомендацій Другої Міжнародної Консенсусної конференції щодо інфекцій опорно-рухового апарату (ICM, 2018) для профілактики ранової інфекції при відкритих переломах таким хворим профілактично призначали антибіотики згідно з інструкціями інфекційного контролю, стабілізували перелом апаратом зовнішньої фіксації (АЗФ), а рану намагались закрити в перші 3-7 днів [15].

Introduction

Infectious complications of bone limb fractures are significant complications that can lead to permanent loss of limb function and amputations in 3% [1–3]. The rate of local infections in closed bone fractures during *peaceful life* is 1.8%, compared to 27–30% in open fractures [4; 5].

In cases of combat limb injuries, 34% of the wounded already had a wound infection during the initial hospitalization, and the most frequent pathogens were *Enterococcus faecium*, *Pseudomonas aeruginosa*, MDR *Acinetobacter* spp., and ESBL-producing *Escherichia coli* [6]. According to the study of the group created to research the infectious complications in the wounded during the wars in Iraq and Afghanistan (TIDOS), the highest percentage of infections (57%) occurred in patients with limb amputations, and patients with open fractures accounted for 17% [7]. In modern war, purulent-septic complications of gunshot wounds occur in 50–75% [8], which in 32.1% causes unsatisfactory outcomes of gunshot fracture treatment [9].

There is growing concern about the increasing prevalence of multi-drug-resistant pathogens such as *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella* spp., *Acinetobacter* spp., *Enterobacter aerogenes*, and *Enterococcus faecalis*, which are resistant to most antibiotic classes [10–12].

The rapid spread of multi-drug-resistant bacteria and a significant decrease in antibiotic efficacy heighten the risk of inadequate initial antibiotic therapy and pose a serious threat to patient survival [13]. Progressive wound infection with the development of a septic condition necessitated secondary limb amputations in 1.5% of patients at the level of specialized medical care [14].

Objective: To analyze the causes of infectious complications in grade III (Gustilo-Anderson classification) open fractures of lower extremities in combat and non-combat injuries and outline preventive measures to control wound infection spread.

Materials and Methods

From 2023 to December 2024, we observed 96 patients with open hip and lower leg fractures. In all cases, the cause of fractures was high-energy trauma: civilian in 27 instances

and combat in 69. There were 87 men and 9 women. The average age was 41 ± 7 years. The mechanisms of civilian trauma included road traffic accidents in 14 cases (51.9%), falls from a height in 6 cases (22.2%), household injuries in 5 cases (18.5%), and industrial injuries in 2 cases (7.4%). The mechanisms of combat-related fractures of the hip and lower leg were shrapnel wounds in 34 patients (49.3%), mine-explosive wounds in 23 patients (33.3%), and bullet wounds in 12 patients (17.3%). In 17 cases (24.6%), there were multiple gunshot fractures of one lower limb. In 41 cases (59.4%), there were multiple gunshot fractures of two or more limbs. In 11 cases (15.9%), gunshot fractures were accompanied by damage to major vessels and nerves. All wounded had Grade III open fractures according to the Gustilo-Anderson classification. 49 (71%) victims had anemia caused by blood loss and required replacement therapy. The timing of admitting the wounded to the second level of medical care (qualified medical care) depended on the operational-tactical situation at the front line. The intensity of the combat clash often did not allow timely evacuation of the wounded to a higher level of medical care. As a result, the terms of admission to the level of specialized and highly specialized medical care were significantly extended and amounted to 4 days on average.

Results

All patients with open leg fractures caused by civilian trauma were admitted to inpatient treatment with microbially contaminated wounds. According to the recommendations of the Second International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection (ICM, 2018), prophylactic antibiotics were administered to prevent wound infections following open fractures, which was in line with infection control guidelines. Fractures were stabilized using external fixation devices, and the attempt to close the wound was made in the first 3 to 7 days [15].

However, 2 (7.4%) of our patients developed leg wound infection. The causes of wound suppuration were high-energy trauma from a traffic accident with significant soft tissue contusion and increased intrafascial pressure, which required decompression fasciotomy.

Проте у двох (7.4%) наших пацієнтів виникло інфікування ран гомілки. Причинами нагноєння ран була високоенергетична травма внаслідок дорожньо-транспортної пригоди із значною контузією м'яких тканин і підвищеним внутрішньо фасціальним тиском, що потребувало декомпресійної фасціотомії. Після ліквідації інфекційного процесу і загоєння рани гомілки їм був виконаний внутрішній остеосинтез. У одного з двох пацієнтів (3.4%) після накисного остеосинтезу пластиною виникла глибока інфекція місця хірургічного втручання. Причина – латентна локальна інфекція і травматичність методу хірургічного втручання. У пацієнтів з інтрамедулярним остеосинтезом відкритого перелому великогомілкової кістки такого ускладнення не було.

Постраждалими з переломами стегна, отриманими внаслідок небойової травми, була проведена передопераційна підготовка і 11 пацієнтам (40.7%) виконаний інтрамедулярний остеосинтез, а трьом (11.1%) – накисний остеосинтез пластиною. В цій групі інфекційні ускладнення виникли у двох пацієнтів (7.4%). Причиною післяопераційного інфекційного ускладнення був цукровий діабет і анемія внаслідок супутніх захворювань.

Поранені з бойовою травмою надійшли вже з інфікованими ранами. Особливо тяжко перебігав рановий процес у 34 пацієнтів (49.2%) з множинними і поєднаними пораненнями кінцівок. Окрім гнійного процесу в м'яких тканинах у них був вогнепальний остеомієліт. Ці пацієнти потребували багаторазової етапної вторинної хірургічної обробки рани з видаленням гнійно-некротичних тканин і нежиттєздатних уламків кісток, терапії негативним тиском, антибактерійної, загальної і імуностимулюючої терапії.

Застосування терапії негативним тиском забезпечувало постійну евакуацію ранових виділень, зменшувало набряк навколо рани, стимулювало формування грануляційної тканини, запобігало реінфекції і полегшувало догляд за раною. Частота заміни ВАК-пов'язки залежала від кількості виділень і динаміки перебігу ранового процесу, але не перевищувала 3-4 дні. Терапію негативним тиском не застосовували при наяв-

ності некротичних тканин, що потребували повторних хірургічних санацій, і при ризику кровотечі з рани. За відсутності ефекту від терапії негативним тиском між двома послідовними змінами пов'язки, лікування цим методом припиняли і застосовували щоденні хірургічні обробки рани та пов'язки з антисептиками.

У чотирьох пацієнтів (11.7%) для ліквідації остеомієліту виконали резекцію стегнової, а у семи (20.5%) – великогомілкової і мало-гомілкової кістки, що призвело до дефекту кістки довжиною 7-12 см. Для ліквідації інфекційного процесу між уламками імплантували цементний спейсер з ванкоміцином, а рану закрили комбінованою пластиною. Перелом кісток фіксували стрижньовим АЗФ, а в подальшому 67% хворих виконали заміну методу фіксації на внутрішній остеосинтез з кістковою пластиною. Щодо двох поранених з дефектом стегнової кістки більш як 10 см застосували методику кісткового транспорту в апараті Ілізарова.

Дотримуючись шкали оцінки можливості заміни методу фіксації АЗФ на внутрішній остеосинтез (за О.А. Буряновим і Ю.О. Ярмолюком), ми не отримали інфекційних ускладнень у пацієнтів з бальною оцінкою за цією шкалою до 5 балів. При 6-9 балах – у 26.4% пацієнтів виникли інфекційні ускладнення місця хірургічного втручання, що їх у 11.8% випадків вдалося ліквідувати без видалення металоконструкції, а у 14.7% – металоконструкцію довелося видалити і перелом фіксувати повторно АЗФ. Пацієнтам з бальною оцінкою 10 і більше балів внутрішній остеосинтез не виконували, оскільки це призвело б до гнійного процесу і негативного результату операції.

Принципи застосування антибіотикотерапії щодо поранених з бойовою травмою були аналогічними як і щодо пацієнтів з небойовою травмою. Відмінність полягала лише в тому, що для постраждалих з небойовою травмою проводили антибіотикопрофілактику, оскільки їхні рани не були інфіковані, а мали мікробне забруднення, і тільки при інфікуванні – призначали антибіотикотерапію. Однак усі поранені з бойовою травмою потребували антибіотикотерапії, оскільки їхні рани вже були інфіковані.

Internal osteosynthesis was performed after eliminating the infection process and achieving wound healing. Among these cases, one patient (3.4%) developed a deep surgical site infection following plate osteosynthesis. This was attributed to latent local infection and the traumatic nature of the surgical procedure. There were no such complications in patients who underwent intramedullary osteosynthesis for open tibial fractures.

In patients with hip fractures caused by civilian trauma, preoperative preparation was carried out, and intramedullary osteosynthesis was performed in 11 (40.7%) patients and plate osteosynthesis in 3 (11.1%). In this group, infectious complications occurred in 2 (7.4%). The cause of the postoperative infectious complications was diabetes mellitus and anemia due to comorbidities.

Wounded with combat trauma were admitted with already infected wounds. The wound healing process was particularly severe in 34 (49.2%) patients with multiple and combined limb injuries. In addition to the purulent process in the soft tissues, they had gunshot osteomyelitis.

These patients required multiple staged secondary surgical debridements to remove necrotic tissues and non-viable bone fragments, negative pressure wound therapy, antibiotic treatment, general pharmacotherapy, and immunostimulatory therapy.

Negative pressure wound therapy ensured continuous evacuation of wound secretions, reduced peri-wound edema, stimulated the granulation tissue formation, prevented reinfection, and simplified wound care. The frequency of VAC dressing changes depended on the amount of secretions and the dynamics of the wound healing process, but it did not exceed 3–4 days. Negative pressure wound therapy was not used in the presence of necrotic tissues that required repeated surgical debridement or in cases of potential wound bleeding. If there was no improvement from negative pressure wound therapy after two consecutive dressing changes, the treatment with this method was discontinued, and daily surgical debridements with antiseptic wound dressings were applied.

Femoral resection was performed in 4 patients (11.7%), and tibial and fibular resection in 7 patients (20.5%) to eliminate osteomyelitis, leading to bone defects measuring 7–12 cm long. To eliminate the infection process, a cement spacer with vancomycin was implanted between the bone fragments, and the wound was closed with combined plastic surgery techniques. The bone fracture was fixed by an external fixation device, which was later converted to internal osteosynthesis with bone grafting in 67% of patients. In 2 patients with a femoral defect of more than 10 cm, the technique of bone transport was applied using the Ilizarov apparatus.

Using the scale for evaluating the possibility of converting the external fixation to internal osteosynthesis (by O.A. Burianov and Y.O. Yarmolyuk), we did not find infectious complications in patients with a score of up to 5 points on this scale. In patients with scores of 6–9 points, 26.4% had infectious complications at the surgical site. Of these, 11.8% were managed without plate osteosynthesis removal, while 14.7% required plate removal and re-fixation by an external fixation device. Internal osteosynthesis was not performed for patients with a score of 10 or more points, as this would lead to purulent complications and adverse surgical outcomes.

The principles of antibiotic therapy in wounded with combat trauma were similar to those in patients with civilian trauma. The difference was that civilian injured patients received antibiotic prophylaxis since their wounds were microbially contaminated but not infected, and antibiotic therapy was prescribed only in case of infection. All wounded with combat trauma required antibiotic therapy, as their wounds were already infected.

The most common pathogens isolated from the wounds of military patients with lower limb injuries were *Acinetobacter* spp., *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, and *Escherichia coli*. Colomycin and polymyxin B were effective against gram-negative bacteria, and vancomycin was effective against gram-positive bacteria.

However, 53.6% of wounded patients with multiresistant microorganisms, including

Найбільш частими збудниками інфекції, що висівались із ран військових з бойовими пораненнями нижніх кінцівок, були *Acinetobacter* spp, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa* і *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*. За антибактерійною активністю ефективними проти грам-негативної мікрофлори були коломіцин і поліміксин В, а проти грам-позитивної – ванкоміцин.

Тяжко піддавались антибактерійній терапії 53.6% поранених з мультирезистентною флорою і присутністю *Acinetobacter baumannii*, метицилін резистентних стафілококів та ванкоміцин резистентних ентерококів, які були стійкими до трьох або більше класів антибіотиків.

Обговорення

Рани, отримані в нестерильних умовах, завжди мають мікробне забруднення і ризик бути інфікованими, а особливості вогнепальної рани цей ризик роблять максимальним. Нагноєння рани з мікробним забрудненням відбувається при порушенні рівноваги між місцевим і загальним антиінфекційним захистом організму – по-перше, а по-друге – патогенністю і кількістю мікробів, які потрапили в рану.

Місцевий антиінфекційний захист організму знижують масивні пошкодження шкірних покривів і підкладних тканин, порушення кровопостачання внаслідок гіпотензії, шоку, тривалого турнікету, сторонніх тіл, забруднення землею і т. ін., згортки крові і девіталізовані некротичні тканини в рані, неадекватний дебрідмент рани, запізнена первинна ампутація кінцівки [16]. Високоенергетичне поранення кінцівки призводить до зростання підфасціального тиску в ураженому сегменті, зменшує перфузію тканин і спричиняє їх ішемію. Наслідком ішемії є зниження опірності тканин до інфекції, а девіталізовані тканини є живильним середовищем для мікроорганізмів.

Загальний антиінфекційний захист організму знижують крововтрата, травматичний шок, перевтома, переохолодження і патологічні процеси, що супроводжуються втратою білка. Варто наголосити, що в умовах гіпоксії антибіотикотерапія не буде ефек-

тивною. Тому компенсація крововтрати і корекція білкового обміну є важливими компонентами профілактики ранової інфекції.

Ми виділили об'єктивні, організаційно-тактичні і необґрунтовані чинники ризику інфекційних ускладнень відкритих переломів кісток нижніх кінцівок.

Об'єктивними чинниками ризику місцевих інфекційних ускладнень бойових поранень кінцівок є особливості будови ранового каналу з некротичними тканинами при вогнепальному пораненні високоенергетичною зброєю, мінно-вибухові та поєднані бойові поранення, множинні поранення однієї кінцівки з порушенням кровотоку, уламковий перелом з великою кількістю множинних дрібних уламків.

Організаційно-тактичними чинниками ризиків розвитку і поширення ранової інфекції є запізніле надання першої медичної допомоги (>3 год), запізніле надання кваліфікованої медичної допомоги (>12 год) і запізнена евакуація на вищий рівень надання медичної допомоги у зв'язку з оперативно-тактичною ситуацією під час бойових дій.

Необґрунтованими чинниками інфекційних ускладнень бойових поранень кінцівок вважаємо: нехтування первинною пов'язкою при пораненні, недостатній первинний та повторний дебрідмент рани, крововтрату при пошуку сторонніх тіл, перевищення показань до первинних швів або завчасні шви на вогнепальну рану, відсутність стабільної фіксації перелому, несвоєчасну діагностику компартмент-синдрому і невиконання декомпресійної фасціотомії, неправильне трактування клінічної картини і даних обстеження, нескореговану крововтрату та післягеморагічну анемію, а також нераціональну антибіотикотерапію без урахування чутливості мікрофлори.

Отже, для неускладненого перебігу ранового процесу при відкритих переломах кінцівок необхідно максимально зменшити кількість мікроорганізмів, що потрапили в рану під час поранення, усунути чинники, що послаблюють антиінфекційний захист тканин навколо рани, зміцнити резистентність організму і застосувати адекватну антибакте-

Acinetobacter baumannii, methicillin-resistant *Staphylococcus* spp., and vancomycin-resistant enterococci (VRE), were challenging to treat. These pathogens were resistant to three or more classes of antibiotics.

Discussion

Wounds that are received in non-sterile conditions are always microbially contaminated and have a risk of infection. The peculiarities of a gunshot wound create this risk to the maximum. The suppuration of a microbially contaminated wound will occur when the balance between local and systemic anti-infective protection of the body is disrupted on the one hand and the pathogenicity and quantity of microbes in the wound on the other hand.

Local anti-infective protection is reduced by massive damage to the skin and underlying tissues, impaired blood supply due to hypotension, shock, prolonged tourniquet, foreign bodies, soil contamination, blood clots, and devitalized necrotic tissues in the wound, inadequate wound debridement, and delayed primary limb amputation [16]. High-energy limb injuries increase subfascial pressure in the affected segment, reduce tissue perfusion, and cause ischemia. Ischemia results in decreased tissue resistance to infection, and devitalized tissues are favorable for microorganisms.

Systemic anti-infective defense of the body is reduced by blood loss, traumatic shock, fatigue, hypothermia, and pathological processes accompanied by protein loss. It should be emphasized that antibiotic therapy will not be effective in conditions of hypoxia. Therefore, compensation for blood loss and correction of protein metabolism are important components of wound infection prevention.

We identified objective, organizational-tactical, and unjustified risk factors for infectious complications in open bone fractures of the lower limbs.

Objective risk factors of local infectious complications of combat limb injuries include the specific structure of the wound channel with necrotic tissues in gunshot wounds caused by high-energy weapons, mine-explosive and combined combat injuries, multiple injuries to one

limb with impaired blood flow, and comminuted fractures with numerous small fragments.

Organizational and tactical risk factors for the development and spread of wound infection include delayed first medical aid (>3 hours), delayed qualified medical care (>12 hours), and delayed evacuation to a higher level of medical care due to the operational-tactical situation during combat.

Unjustified risk factors of infectious complications in combat limb injuries include neglecting primary wound dressing at the time of injury, insufficient primary and repeated wound debridement, blood loss during the search for foreign bodies, exceeding the indications for primary sutures or applying sutures on gunshot wounds too early, lack of stable fracture fixation, delayed diagnosis of compartment syndrome and failure to perform decompressive fasciotomy, incorrect interpretation of clinical and examination data, uncorrected blood loss and post-hemorrhagic anemia, and irrational antibiotic therapy without taking into account microbial sensitivity.

Therefore, for an uncomplicated course of the wound process in open limb fractures, it is necessary to minimize the number of microorganisms entering the wound at the time of injury, eliminate factors weakening the anti-infective protection of tissues around the wound, strengthen the body's resistance, and apply adequate antibacterial therapy.

Consequently, the basics for preventing wound infection in gunshot fractures of lower limbs are thorough debridement with removal of non-viable tissues, careful hemostasis, wound irrigation with antiseptics (the quantity of antiseptic matters is more important for reducing microbial contamination of the wound than the choice of antiseptic), decompressive fasciotomy, adequate wound drainage, no use of primary sutures, compensation for blood loss and elimination of tissue hypoxia, proper enteral nutrition, and adequate antibacterial therapy.

Patients with infectious complications of the wound process require numerous repeated secondary surgical wound debridements with staged removal of necrotic tissues, which

рійну терапію. Тому основами профілактики ранової інфекції при вогнепальних переломах нижніх кінцівок є повноцінний дебрідмент з видаленням нежиттєздатних тканин, ретельний гемостаз, промивання рани антисептиками (кількість антисептика має більше значення для зменшення мікробного забруднення рани, аніж вибір антисептика), декомпресійна фасціотомія, адекватне дренивання рани, відмова від накладання первинних швів, компенсація крововтрати і усунення гіпоксії тканин, повноцінне ентеральне харчування і адекватна антибактерійна терапія.

Пацієнти з інфекційними ускладненнями ранового процесу потребують чисельних повторних вторинних хірургічних обробок ран із етапним видаленням утворених некротичних тканин, які є прогнозованими в перебігу ранового процесу високоенергетичних і бойових вогнепальних ран. Травмовані з відкритими переломами гомілки, які отримали травми в цивільному житті потребували від одного до трьох хірургічних втручань, а поранені з бойовою травмою – від двох до семи хірургічних операцій. Така різниця свідчить, наскільки агресивнішим є інфекційний рановий процес у поранених з бойовою травмою. У пацієнтів з мультирезистентною флорою багаторазові дебрідменти гнійних ран, а в декотрих випадках ампутація кінцівки, є основними компонентами комплексного лікування пораненого для подолання інфекційного процесу та збереження його життя.

Виходячи з наведених фактів, основними причинами місцевих гнійних ускладнень відкритих переломів гомілки і стегна були: високоенергетична травма з пошкодженням і дефектом м'яких тканин, компартмент-синдром і порушення перфузії травмованого сегменту. Зменшити ризики розвитку і прогресування ранової інфекції дає змогу своєчасна і адекватна хірургічна обробка рани, фасціотомія для запобігання компартмент-синдрому, стабілізація перелому апаратом зовнішньої фіксації, терапія негативним тиском, корекція анемії і білкового обміну та антибіотикотерапія відповідно до чутливості ранової мікрофлори.

Висновки
Відкриті переломи нижніх кінцівок мають високий ризик інфекційних ускладнень, особливо внаслідок бойової травми. Інфікування відкритих переломів і поширення ранової інфекції прямопропорційно залежить від механізму травми, від догоспітальної медичної допомоги і від термінів та якості надання кваліфікованої і спеціалізованої медичної допомоги.

Список літератури

1. Bezstarosti H., Van Lieshout E.M.M., Voskamp L.W., Kortram K., Obremskey W., McNally M.A., Metsemakers W.J., Verhofstad M.H.J. Insights into treatment and outcome of fracture-related infection: A systematic literature review. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2019; Jan;139(1):61-72. <https://doi.org/10.1007/s00402-018-3048-0>
2. Lu V., Zhang J., Patel R., Zhou A.K., Thahir A., Krkovic M. Fracture Related Infections and Their Risk Factors for Treatment Failure – A Major Trauma Centre Perspective. *Diagnostics* 2022; 12(5): 1289. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12051289>
3. Hussain S.A., Walters S., Ahluwalia A.K., Trompeter A. Fracture-related infections. *Br J Hosp Med.* 2023; Aug 2; 84(8):1-10. <https://doi.org/10.12968/hmed.2022.0545>
4. Birt M.C., Anderson D.W., Toby E.B., Wang J. Osteomyelitis: Recent advances in pathophysiology and therapeutic strategies. *J. Orthop.* 2016;14:45–52. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2016.10.004>
5. Metsemakers W.-J., Onsea J., Neutjens E., Steffens E., Schuermans A., McNally M., Nijs S. Prevention of fracture-related infection: A multidisciplinary care package. *Int. Orthop.* 2017; 41, 2457–2469. <https://doi.org/10.1007/s00264-017-3607-y>
6. Weintrob A. C., Murray C. K., Xu J., Krauss M., Bradley W., Warkentien T. E., Lloyd B.A, Tribble D.R. Early Infections Complicating the Care of Combat Casualties from Iraq and Afghanistan. *Surg. Infect.* 2018; 19(3): 286-297. <https://doi.org/10.1089/sur.2017.240>
7. Petfield J. L., Lewandowski L. R., Stewart L., Murray C. K., Tribble D. R. IDCRP Combat-Related Extremity Wound Infection Research. *Mil Med.* 2022; May 5;187(Suppl 2):25–33. <https://doi.org/10.1093/milmed/usab065>

are predictable during the wound process of high-energy and combat gunshot wounds. Patients with open lower leg fractures sustained in civilian life required from 1 to 3 surgical interventions, while those with combat injuries needed from 2 to 7 surgical procedures. This difference indicates how much more aggressive the infectious wound process is in the wounded with combat trauma.

For patients with multiresistant bacteria, multiple debridements of purulent wounds and, in some cases, limb amputation, are the main components of a comprehensive treatment of the wounded to overcome the infectious process and save the patient's life.

Thus, the main causes of local purulent complications in open fractures of the tibia and femur were high-energy trauma with damage and de-

fects in soft tissues, compartment syndrome, and impaired perfusion of the injured segment. Timely and adequate surgical debridement of the wound, fasciotomy to prevent compartment syndrome, stabilization of the bone fracture with an external fixation device, negative pressure wound therapy, correction of anemia and protein metabolism, and antibiotic therapy following the sensitivity of wound microbiota can reduce the risk of development and progression of wound infection.

In Conclusions: Open fractures of lower limbs have a high risk of infectious complications, especially as a result of combat trauma. The infection of open fractures and the spread of wound infection are directly proportional to the mechanism of injury, the quality of pre-hospital medical care, and the timing and quality of qualified and specialized medical care.

References

1. Bezstarosti H., Van Lieshout E.M.M., Voskamp L.W., Kortram K., Obremskey W., McNally M.A., Metsemakers W.J., Verhofstad M.H.J. Insights into treatment and outcome of fracture-related infection: A systematic literature review. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2019; Jan;139(1):61-72. <https://doi.org/10.1007/s00402-018-3048-0>
2. Lu V., Zhang J., Patel R., Zhou A.K., Thahir A., Krkovic M. Fracture Related Infections and Their Risk Factors for Treatment Failure – A Major Trauma Centre Perspective. *Diagnostics* 2022; 12(5): 1289. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12051289>
3. Hussain S.A, Walters S, Ahluwalia A.K, Trompeter A. Fracture-related infections. *Br J Hosp Med.* 2023; Aug 2; 84(8):1-10. <https://doi.org/10.12968/hmed.2022.0545>
4. Birt M.C., Anderson D.W., Toby E.B., Wang J. Osteomyelitis: Recent advances in pathophysiology and therapeutic strategies. *J. Orthop.* 2016;14:45–52. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2016.10.004>
5. Metsemakers W.-J., Onsea J., Neutjens E., Steffens E., Schuermans A., McNally M., Nijs S. Prevention of fracture-related infection: A multidisciplinary care package. *Int. Orthop.* 2017; 41, 2457–2469. <https://doi.org/10.1007/s00264-017-3607-y>
6. Weintrob A. C., Murray C. K., Xu J., Krauss M., Bradley W., Warkentien T. E., Lloyd B.A, Tribble D.R. Early Infections Complicating the Care of Combat Casualties from Iraq and Afghanistan. *Surg. Infect.* 2018; 19(3): 286-297. <https://doi.org/10.1089/sur.2017.240>
7. Petfield J. L., Lewandowski L. R., Stewart L., Murray C. K., Tribble D. R. IDCRP Combat-Related Extremity Wound Infection Research. *Mil Med.* 2022; May 5;187(Suppl 2):25–33. <https://doi.org/10.1093/milmed/usab065>
8. Khomenko, I. P., Tsema, I. V., Shapovalov, V. Y., Tertyshny, S. V., Shklyarevych, P. O. Dynamics of gunshot wound microbial contamination during complex surgical treatment. *Surgery of Ukraine*, 2018; (1): 7–13. <https://doi.org/10.30978/SU201817>
9. Loskutov O, Zarutskiy Y. The modern concept of diagnosis and treatment of gunshot and mine-explosive injuries of limbs. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics.* 2016;(2):5-9. <https://doi.org/10.15674/0030-5987201625-9>
10. Lenhard J.R., Natiend R.L., Tsujia B.T. Synergistic combinations of polymyxins. *Int J Antimicrob Agents.* 2016; 48 (6): 607-613 <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2016.09.014>
11. Trutyak I, Los D, Medzyn V, Trunkvalter V, Zukovsky V. Treatment of combat surgical trauma of the limbs in the conditions of modern war *Medical Sciences* 2022, 2 (69). <https://doi.org/10.25040/ntsh2022.02.16>
12. Hrytsai M.P., Poliachenko Yu.V., Tsokalo V.M., Kolov H.B., Yevlantiyeva T.A. Treatment Tactics in Case of Infectious Complications in Patients with Combat Injuries of the Musculoskeletal System (according to the Clinic's Own Experience) *Terra Orthopaedica*, 2023, № 1: 46-57. <https://doi.org/10.37647/2786-7595-2023-116-1-46-57>

8. Khomenko, I. P., Tsema, I. V., Shapovalov, V. Y., Tertyshny, S. V., Shklyarevych, P. O. Dynamics of gunshot wound microbial contamination during complex surgical treatment. *Surgery of Ukraine*, 2018; (1): 7–13. <https://doi.org/10.30978/SU201817>
9. Loskutov O, Zarutskiy Y. The modern concept of diagnosis and treatment of gunshot and mine-explosive injuries of limbs. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*. 2016;(2):5-9. <https://doi.org/10.15674/0030-5987201625-9>
10. Lenhard J.R., Nation R.L., Tsujia B.T. Synergistic combinations of polymyxins. *Int J Antimicrob Agents*. 2016; 48 (6): 607-613 <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2016.09.014>
11. Trutyak I, Los D, Medzyn V, Trunkvalter V, Zukovsky V. Treatment of combat surgical trauma of the limbs in the conditions of modern war *Medical Sciences* 2022, 2 (69). <https://doi.org/10.25040/ntsh2022.02.16>
12. Hrytsai M.P., Poliachenko Yu.V., Tsokalo V.M., Kolov H.B., Yevlantieva T.A. Treatment Tactics in Case of Infectious Complications in Patients with Combat Injuries of the Musculoskeletal System (according to the Clinic's Own Experience) *Terra Orthopaedica*, 2023, № 1: 46-57. <https://doi.org/10.37647/2786-7595-2023-116-1-46-57>
13. Raman G., Avendano E., Berger S., Menon V. Appropriate initial antibiotic therapy in hospitalized patients with gram-negative infections: systematic review and meta-analysis *BMC* 2015; Sep 30:15:395. <https://doi.org/10.1186/s12879-015-1123-5>
14. Trutyak I, Prokhorenko G, Malickii V, Samotowka M, Trunkvalter V, Trutyak R. Problematic issues of limb amputation in wounded with combat trauma. *Proceedings of the Shevchenko Scientific Society. Medical Sciences* 2023, 2 (72) <https://doi.org/10.25040/ntsh2023.02.08>
15. Schwarz, E. M., Parvizi, J., Gehrke, T., Aiyer, A., Battenberg, A., Brown, S. A., Winters, B. The 2018 International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection: Research Priorities from the General Assembly Questions. *Journal of Orthopaedic Research* 2019; 37(5): 997-1006. <https://doi.org/10.1002/jor.24293>
16. Netliukh A, Plakhtyr Z. Revision surgery for amputation stump terminal neuroma after blast injuries. *Proc Shevchenko Sci Soc Med Sci [Internet]*. 2024Dec.27; 76(2). Available from: <https://mspsss.org.ua/index.php/journal/article/view/1040/>; <https://doi.org/10.25040/ntsh2024.02.19>

13. Raman G., Avendano E., Berger S., Menon V. Appropriate initial antibiotic therapy in hospitalized patients with gram-negative infections: systematic review and meta-analysis BMC 2015; Sep 30:15:395. <https://doi.org/10.1186/s12879-015-1123-5>
14. Trutyak I, Prokhorenko G, Malickii V, Samotowka M, Trunkvalter V, Trutyak R. Problematic issues of limb amputation in wounded with combat trauma. Proceedings of the Shevchenko Scientific Society. Medical Sciences 2023, 2 (72) <https://doi.org/10.25040/ntsh2023.02.08>
15. Schwarz, E. M., Parvizi, J., Gehrke, T., Aiyer, A., Battenberg, A., Brown, S. A., Winters, B. The 2018 International Consensus Meeting on Musculoskeletal Infection: Research Priorities from the General Assembly Questions. Journal of Orthopaedic Research 2019; 37(5): 997-1006. <https://doi.org/10.1002/jor.24293>
16. Netliukh A, Plakhtyr Z. Revision surgery for amputation stump terminal neuroma after blast injuries. Proc Shevchenko Sci Soc Med Sci [Internet]. 2024Dec.27; 76(2). Available from: <https://mspsss.org.ua/index.php/journal/article/view/1040/>; <https://doi.org/10.25040/ntsh2024.02.19>