

УДК 616.718.5-001.45-018.46-002:617.584-089.844](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872025431-38>

Аналіз застосування методики Masquelet при лікуванні критичних дефектів великогомілкової кістки після вогнепальних поранень, ускладнених остеомієлітом

М. П. Грицай¹, Г. Б. Колов¹, А. С. Половий²,
Р. В. Видерко¹, А. С. Гордій¹, В. І. Сабадош¹, А. С. Лисак²

¹ ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України», Київ

² ДУ «Головний медичний клінічний центр Міністерства внутрішніх справ України», Київ

*Despite significant progress in the development of medicine, post-traumatic osteomyelitis remains one of the biggest problems in the treatment of patients in the orthopedic and traumatology specialty. The Masquelet technique has been most often used in the treatment of chronic osteomyelitis in recent years. Given the high relevance of this problem in foreign and domestic literature, we decided to analyze our own results of treatment of patients after gunshot, shrapnel or mine-explosive wounds of the lower extremities, namely with the presence of critical tibial defects complicated by osteomyelitis under the conditions of using the Masquelet technique. Purpose. To analyze the results of application and determine the clinical and laboratory dependencies of the Masquelet technique in the case of replacement of critical tibial defects after gunshot wounds complicated by osteomyelitis. Methods. The study analyzed 153 patients with critical tibial defects after gunshot wounds complicated by osteomyelitis. Results. With the correct use of the Masquelet technology, bone graft reconstruction was achieved in all patients, the average period was (168.08 ± 62.0) days. Among the shortcomings, it is worth noting the significant dependence of the consolidation period on the condition of the soft tissues, as well as on the pathological pathogen (the presence of *Klebsiella pneumoniae* or *Pseudomonas aureginos* in the wound). The terms of consolidation and reconstruction of the bone graft were significantly extended due to these factors. However, the issue of replacing critical bone defects of the tibia after gunshot wounds complicated by osteomyelitis requires further study and comparison of existing techniques. Keywords. Tibia, Masquelet, osteomyelitis, critical bone defect, infection.*

*Незважаючи на значний прогрес у розвитку медицини, посттравматичний остеомієліт залишається однією з найбільших проблем під час лікування пацієнтів в ортопедо-травматологічній спеціальності. Методика Masquelet в останні роки найчастіше використовується під час лікування хронічного остеомієліту. Зважаючи на високу актуальність цієї проблеми в закордонній та вітчизняній літературі, ми вирішили провести аналіз власних результатів лікування пацієнтів після вогнепальних, осколкових чи мінно-вибухових поранень нижніх кінцівок, а саме з наявністю критичних дефектів великогомілкової кістки, ускладнених остеомієлітом за умов використання методики Masquelet. Мета. Проаналізувати результати застосування та визначити клініко-лабораторні залежності Masquelet-техніки у разі заміщення критичних дефектів великогомілкової кістки після вогнепальних поранень ускладнених остеомієлітом. Методи. У дослідженні проаналізовано 153 пацієнти з критичними дефектами великогомілкової кістки після вогнепальних поранень, ускладнених остеомієлітом. Результати. За правильного використання технології Masquelet перебудови кісткового трансплантата вдалось досягнути у всіх пацієнтів, середній термін складав $(168,08 \pm 62,0)$ днів. Серед недоліків варто зауважити значну залежність термінів консолідації від стану м'яких тканин, а також від патологічного збудника (присутність у рані *Klebsiella pneumoniae* або *Pseudomonas aureginos*). Терміни консолідації та перебудови кісткового трансплантата значно подовжувались через ці фактори. Проте питання заміщення критичних кісткових дефектів великогомілкової кістки після вогнепальних поранень, ускладнених остеомієлітом, потребує подальшого вивчення та порівняння існуючих методик.*

Ключові слова. Великоомілкова кістка, Masquelet, остеомієліт, критичний кістковий дефект, інфекція

Вступ

Незважаючи на значний прогрес у розвитку медицини, посттравматичний остеомієліт залишається однією з найбільших проблем під час лікування пацієнтів в ортопедо-травматологічній спеціальності. Особливо гостро стало питання лікування хворих з остеомієлітом після початку повномасштабних військових дій на території України. Кількість постраждалих із критичними кістковими дефектами значно збільшилась. Відповідно, застосування різних технік для їхнього заміщення набуло ще більшої актуальності. Серед них: транспорт за Ілізаровим, техніка Masquelet, перенесення малоомілкової кістки й індивідуальні титанові 3Д-імпланти.

Щодо аналізу методик лікування поранених із критичними дефектами кісток у разі сучасних бойових дій, публікації поодинокі, а з узагальненнями, прогнозами й аналізом узагалі обмаль. У мультицентровому дослідженні ускладнень після вогнепальних поранень серед цивільного населення в США, інфекційні ускладнення виникали у 9,3 % пацієнтів. [1] Згідно з даними відділу статистики Національного військово-медичного клінічного центру «Головний військовий клінічний госпіталь» із лютого 2022 по червень 2023 року вогнепальні переломи з дефектами кісткової тканини склали 76 % серед усіх випадків (кісткові дефекти більше 6 см — 25 %), остеомієліт зареєстрований у 14 % [2–4].

Значне збільшення кількості хворих на остеомієліт, асоційований із дефектами кісток гомілки, призвело до того, що лікарі почали впроваджувати не лише нові методи лікування, але й набувати досвіду в методиках, які давно використовуються в спеціалізованих центрах. Техніка Ілізарова знов стала актуальною та поширеною і на сьогодні в багатьох випадках є безальтернативним способом лікування. Методика Masquelet в останні роки є однією з найчастіше застосовуваних процедур під час лікування хронічного остеомієліту [1]. Вона складається з двох хірургічних етапів: на першому, після проведення секвестрнекректомії, дефект кістки заповнюється кістковим цементом, який попередньо насичений антибіотиком для забезпечення місцевого протимікробного впливу та сприяє формуванню реактивної мембрани «стороннього тіла» протягом 6–8 тижнів; на другому, після контролю інфекції, спейсер видаляється і проводиться реконструкція кістки шляхом кісткової пластики відповідного дефекту.

Зважаючи на високу актуальність цієї проблеми в закордонній та вітчизняній літературі, ми вирішили провести аналіз власних результатів лікування пацієнтів після вогнепальних, осколкових чи мінно-вибухових поранень нижніх кінцівок, а саме з наявністю критичних дефектів великогомілкової кістки, ускладнених остеомієлітом, за використання методики Masquelet.

Мета: проаналізувати результати використання та визначити клініко-лабораторні залежності методики Masquelet під час заміщення критичних дефектів великогомілкової кістки після вогнепальних поранень, ускладнених остеомієлітом.

Матеріал і методи

У період із 2014 по 2025 р. у відділенні кістково-гнійної хірургії ДУ «Національний інститут травматології та ортопедії НАМН України» проліковано 153 пацієнти з критичними дефектами великогомілкової кістки після вогнепальних поранень, ускладнених остеомієлітом. Дослідження схвалене комітетом із біоетики (протокол № 6 від 14.07.2025 р.) відповідної установи згідно з Гельсінською декларацією прав людини та біомедицини, а також чинним законодавством України. Усі залучені пацієнти підписали інформовану згоду.

Критеріями включення до нашого дослідження стали:

- 1) поранення нижньої кінцівки внаслідок бойових дій: кульове, осколкове або мінно-вибухове;
- 2) критичний дефект великогомілкової кістки. За критичний дефект прийнято сегментарний дефект кістки, що більш ніж у 2 рази перевищує її діаметр, отже розглянуто випадки з мінімальним сегментарним дефектом у 4 см;
- 3) наявність остеомієліту великогомілкової кістки, підтвердженого клінічними, рентгенологічними та мікробіологічними дослідженнями;
- 4) випадки, де застосована методика Masquelet з метою заміщення критичного дефекту великогомілкової кістки.

Критеріями виключення були:

- 1) інші, окрім бойової, травми нижньої кінцівки, що призвели до утворення критичних дефектів великогомілкової кістки;
- 2) відсутність клініко-лабораторного підтвердження остеомієлітичного процесу в пацієнта;
- 3) порушення техніки виконання Masquelet на різних етапах лікування;
- 4) незавершені випадки лікування або неможливість відслідкувати віддалені результати.

Після застосування критеріїв включення та виключення нами сформовано групу, яка складається з 39 пацієнтів (37 чоловіків, 2 жінки), середній вік — $(39,28 \pm 10,16)$ років (від 19 до 65), ретроспективний аналіз результатів лікування якої був здійснений. Середня давність травми у хворих складала $(215,95 \pm 114,83)$ днів (від 50 до 480). До госпіталізації у відділення пацієнтам проведено від 2 до 17 хірургічних втручань.

Усі особи прооперовані відповідно до методики Masquelet, технологія якої полягає в наступному: метою першого етапу втручання є створення біологічного середовища, вільного від некрозу або інфікованої тканини шляхом повного видалення всіх нежиттєздатних кісткових і м'яких тканин. Неналежна санація негативно впливає на якість сформованої мембрани і підвищує ризик інфекційних ускладнень. Видалення склерозованої кістки досягається, коли отримана адекватна кісткова кровоточивість, що забезпечує життєздатність решти кістки та розпізнається клінічно за наявності точкової кровоточивості всередині медулярного каналу («симптом паприки», у вітчизняній літературі ознака «кров'яної роси»). Після належної обробки, поліметилметакрилат (ПММА) імплантують у дефект. Цементний спейсер повинен входити приблизно на сантиметр в інтрамедулярний канал і виступати по колу над кірковим шаром проксимального та дистального фрагментів, щоб охопити оголені кінці кісток приблизно на 2 см, подібно до морфології капсули суглоба. Під час полімеризації спейсера виникає екзотермічна реакція, через що спейсер слід огороджувати мокрою губкою чи серветкою, для уникнення теплового некрозу навколишніх тканин. Часто до порошку спеціалізованого кісткового цементу додають антибіотики для підвищення відсотка ерадикації інфекції в зоні хірургічного втручання. Спейсери з ПММА, наповнені відносно низькими концентраціями ванкоміцину (1–4 г на одну дозу цементу), не перешкоджають проліферативній, остеогенній та ангіогенній здатності індукованих мембран і навіть підвищують їх. У той самий час, спейсери, насичені відносно високою концентрацією ванкоміцину (6–10 г на одну дозу цементу), мали негативний вплив на життєздатність і проліферацію остеобластів, ангіогенез [5]. Після завершення першої операції необхідний певний період часу, щоб викликати місцевий каскад реакції на чужорідне тіло в утворення аутологічної «індукованої» стороннім тілом мембрани навколо спейсера з ПММА [6].

Виявлено, що остеогенна здатність мембрани досягає максимуму, а потім зменшується: експресія СЕФР (судинний ендотеліальний фактор росту) різко знижується через місяць, тоді як експресія КМБ-2 (кістковий морфогенетичний білок-2) досягає піку через 4–6 тижнів. Ці дані вказують на те, що ідеальний час для виконання другого етапу становить від 4 до 6 тижнів після першого етапу. Проте через різноманітність травм у клінічних умовах не завжди можна передбачити час наступного етапу, оскільки загоєння рани вважається необхідною умовою для його виконання. Порушене середовище м'яких тканин також може затримувати формування мембрани з неможливістю переходу до завершальної операції. Проте клінічно визнаний консенсус полягає в тому, що 4–8 тижнів є ідеальним часом для очікування між двома етапами процедури [7]. Слід відмітити роль стабільності у фіксації кісткових уламків на першому етапі оперативного втручання. Утворення мембрани можливе лише за умови досягнення абсолютної стабільності, а також є ключовим фактором в ерадикації інфекції, оскільки нестабільний цементний спейсер через травматизацію м'яких тканин може спричинити рецидив інфекційного процесу.

На другому хірургічному етапі мембрану ідентифікують і обережно надрізають, забезпечуючи доступ поздовжнім розрізом, щоб уникнути порушення її васкуляризації. Цементний спейсер видаляється частинами за допомогою остеотомів, щоб уникнути пошкодження мембрани. Після чого проводять забір спонгіозного аутотрансплантата й імплантують його всередину мембрани для заповнення дефекту. Кістковий трансплантат має бути щільно упакований, а мембрана закрита над трансплантатом швом. На другому етапі для стабілізації використовується остаточна фіксація кісткових фрагментів, бо жорстке кріплення сприяє васкуляризації трансплантата, а за умов нестабільного відсоток незрощень і лізису трансплантата збільшується [8].

Якщо кісткового аутогенного трансплантата недостатньо для заповнення дефектів, можна додати алогенні кісткові трансплантати або синтетичні сполуки (частинки трикальційфосфату, біоскло й ін.) для збільшення об'єму. Ідеальне співвідношення між аутогенними й алогенними кістковими трансплантатами все ще залишається предметом суперечок. Проте загалом оптимальним вважається 70 % аутогенної кістки і 30 розширювачів об'єму (алогенні кісткові трансплантати, синтетичні, тощо) [9]. Слід урахувати, що

зі збільшенням кількості так званих розширювачів об'єму зростає і відсоток незрощень та рецидивів інфекції.

Усім пацієнтам із нашої вибірки проведено реконструкцію критичних кісткових дефектів згідно з принципами методики, описаної вище. Усі хворі проходили огляди з рентгенологічним контролем консолідації кісткового трансплантата через 6–8 тижнів, 3 та 6 міс., у подальшому раз на 3 міс. із моменту другого етапу втручання. Зрощення підтверджено клінічно (відсутність больового синдрому за осьового навантаження) та рентгенологічно (наявність ознак консолідації кісткового трансплантата). Середня тривалість консолідації кісткового трансплантата в разі заміщення критичного дефекту великогомілкової кістки складала ($168,08 \pm 62,0$) днів (від 100 до 370). Але водночас ми відмітили знижену щільність кістки, яка утворилась, що спостерігається від 1 до 4 років після закінчення лікування. Тому обмеження у фізичних навантаженнях залишається на тривалий час, як відповідно і заборона планового видалення фіксаторів з ураженого сегмента в пацієнтів із критичними кістковими дефектами.

Результати

Залежно від збудника інфекційного процесу в ділянці кісткового дефекту, який був виявлений під час мікробіологічного дослідження, пацієнти були розподілені на наступні групи: *Klebsiella pneumoniae* — 7 (17,95 %), *Pseudomonas aureginosa* — 7 (17,95 %), *Staphylococcus aureus* — 18 (46,15 %), *Acinetobacter spp.* — 2 (5,13 %), *Escherichia coli* — 4 (10,26 %), та *Proteus mirabilis* у 1 хворого (2,56 %) (рис. 1).

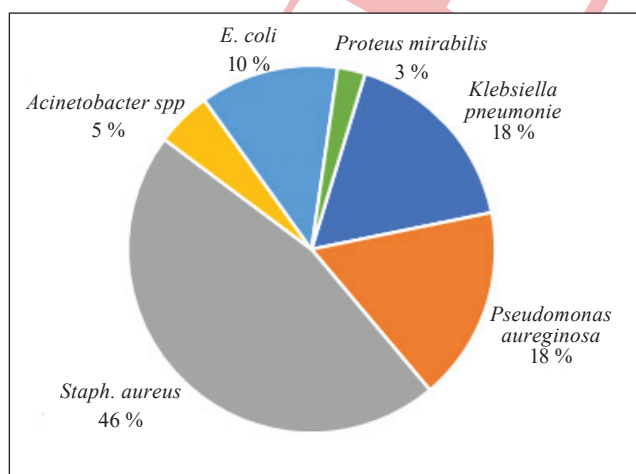


Рис. 1. Розподіл групи хворих за збудниками патологічного процесу

Класифікація кісткових дефектів

D1 — неповний дефект (задіяні максимум три з чотирьох кіркових шарів):

- А) до 25 % втрати кіркового шару;
- В) втрата кіркового шару кістки від 25 до < 75 %;
- С) > 75 до 99 % втрати кіркового шару.

D2 — субкритичний дефект до 2 см (розрізняють за формою кінців кісткових уламків):

- А) два косих кінця кісткових уламків;
- В) один косий, інший поперечний кінець;
- С) два поперечних кінця уламків, тобто сегментарний дефект.

D3 — сегментарний дефект критичного розміру (> 2 см)

- А) від 2 < 4 см;
- В) від 4 < 8 см;
- С) ≥ 8 см.

Згідно з класифікацією дефектів кісток, яка розроблена асоціацією ортопедичної травми в 2021 році, виявлено, що всі пацієнти в нашому дослідженні належали до D3В та D3С групи [10]. Не зважаючи на те, що в класифікації група D3А відноситься до критичних, у нашій практиці ми оптимізували цю класифікацію, оскільки дефекти до 3–4 см можливо вилікувати одноетапно та в більшості випадків вони не потребують багатоетапного хірургічного втручання, а також не відповідають визначенню критичного кісткового дефекту (сегментарний дефект, що в 2–2,5 рази перевищує діаметр ушкодженої кістки) [11].

Залежно від розмірів критичного кісткового дефекту великогомілкової кістки пацієнти були розділені на наступні групи: дефект від 4 до 6 см — 18 пацієнтів (46,15 %), від 6 до 9 см — 13 (33,33 %) та 9 см і більше — 8 випадків (20,51 %).

Ми також провели аналіз характеру ушкодження м'яких тканин гомілки в цих пацієнтів, зокрема нами визначено наявність дефекту шкірних покривів, ураження м'язів гомілки, а також судинно-нервові порушення. Таким чином, задовільний стан шкірних покривів був у 24 осіб (61,54 %), значна рубцева трансформація — у 7 (17,95 %), а дефект, який потребував попереднього ортопластичного заміщення — у 8 випадках (20,51 %).

Ушкодження магістральних судин гомілки та відповідна перебудова кровообігу за колатеральним типом відзначалась у 12 пацієнтів (30,77 %). У 5 випадках (12,82 %) діагностовано ушкодження малогомілкового, а у 2 (5,13 %) — великогомілкового нервів. Ішемічна контрактура скелетних м'язів гомілки відмічалась у 17 хворих (43,59 %),

у той самий час дефект м'язової тканини діагностовано у 5 пацієнтів (12,82 %).

Під час дослідження кореляційних зв'язків було встановлено помірну зворотну залежність ($\rho = -0,26$) між тривалістю зрощення і давністю травми, тобто за більш раннього застосування Masquelet — зрощення відбувалося пізніше. Відмічено помірну пряму кореляційну залежність ($\rho = 0,36$) між тривалістю зрощення та кількістю хірургічних втручань до застосування Masquelet — за більшої кількості втручань, що передували першій операції зрощення відбувалося швидше. Також спостерігалась сильна пряма кореляційна залежність ($\rho = 0,8$) між тривалістю зрощення та розміром дефекту: великий — повільніше, перебудова трансплантата теж займала більший проміжок часу. Давність травми обумовлювала значну кількість хірургічних втручань, що свідчить про помірну зворотну кореляційну залежність ($\rho = -0,23$). Також встановлено, що за більшої кількості втручань, які передували Masquelet-техніці (розмір дефекту більший) існує помірна пряма кореляційна залежність ($\rho = 0,34$) між кількістю операцій до застосування техніки Masquelet і розміром дефекту кістки.

У дослідженні також простежували відповідні кореляційні зв'язки між термінами консолідації кісткового трансплантата й ураженням м'яких тканин: помірна пряма кореляційна залежність ($\rho = 0,36$) між тривалістю зрощення та наявністю дефекту шкірних покривів та/або м'язів; ушкодження магістральних артерій (за наявності хоча б одного з перелічених чинників) — зрощення відбувалось повільніше. Також відмічено помірну зворотню кореляційну залежність ($\rho = -0,41$) між тривалістю зрощення та збереженням іннервації кінцівки (під час ушкодження малогомілкового та великогомілкового нервів) — відбувалось повільніше.

Виявили помірну пряму кореляційну залежність між кількістю оперативних втручань і ушкодженням магістральних артерій ($\rho = 0,39$) та дефектом м'язової тканини ($\rho = 0,25$). Ураження магістральних артерій супроводжувалось значною ішемією оточуючих м'яких тканин, що вимагало більшої кількості втручань — дебридментів, як і за дефектів м'язової тканини. Рецидиви інфекційного процесу в нашому дослідженні спостерігались у 6 пацієнтів (15,4 %), що потребувало проведення додаткових оперативних втручань — повторної санації та респейсерування. Після другого етапу лікування критичний лізіс трансплантата, який потребував повторної кісткової пластики, зафіксовано в 3 хворих (7,7 %).

Із приводу розміру кісткових дефектів авторами було відмічено наступне: спостерігалась помірна пряма кореляційна залежність між цією характеристикою та наявністю ураження шкірних покривів, ушкодженням магістральних артерій, м'язів і нервів — у разі їхнього великого обсягу вони поєднувались із дефектами шкірних покривів ($\rho = 0,38$), із травмою магістральних артерій ($\rho = 0,25$), м'язів ($\rho = 0,55$) та нервів гомілки ($\rho = 0,55$).

Визначаючи залежності між різними патологічними збудниками та тривалістю консолідації кісткового трансплантата, а також ураженням тканин гомілки, було встановлено: помірну пряму кореляційну залежність між тривалістю зрощення та збудником, який виявлено під час бактеріологічного дослідження: за наявності *Klebsiella pneumoniae* ($\rho = 0,26$) та *Pseudomonas aureginosa* ($\rho = 0,25$) — повільно; а також помірну зворотню кореляційну залежність ($\rho = -0,24$) між тривалістю зрощення та виявленням *Staphylococcus aureus* — швидко.

У разі *Klebsiella pneumoniae* спостерігали помірну пряму кореляційну залежність між дефектом кісткової тканини ($\rho = 0,36$), шкірних покривів ($\rho = 0,26$), та м'язової тканини ($\rho = 0,42$). Також було відмічено помірну пряму кореляційну залежність ($\rho = 0,40$) між більшою кількістю хірургічних втручань до операції за Masquelet за умов виявлення *Pseudomonas aureginosa* в бактеріологічному дослідженні.

Оскільки *Staphylococcus aureus* найпоширеніший збудник серед всієї групи та складає 46 %, його наявність нами було прийнято за контрольну для порівняння термінів консолідації кісткового трансплантата.

У дослідженні встановлено достовірну ($p < 0,05$) різницю між тривалістю консолідації в групах пацієнтів у яких під час мікробіологічного аналізу виявили *Klebsiella pneumoniae* чи *Pseudomonas aureginosa* та *Staphylococcus aureus*, із більш тривалими термінами консолідації в групі *Klebsiella pneumoniae* та *Pseudomonas aureginosa*. Водночас достовірної різниці тривалості консолідації між групами хворих, у яких діагностували *Klebsiella pneumoniae* та *Pseudomonas aureginosa* не було ($p = 0,45$). Також не зафіксовано достовірної різниці в тривалості консолідації між групами пацієнтів, у яких виявили *Staphylococcus aureus* та інші збудники (окрім *Klebsiella pneumoniae* та *Pseudomonas aureginosa*).

Наведемо приклади з контрольними рентгенограмами одразу після оперативних втручань

двоетапної процедури за методикою Masquelet та через 9 міс. після другого етапу (рис. 2–4).

Обговорення

Зважаючи на наявність кореляційної залежності між тривалістю зрощення, давністю травми та кількістю хірургічних втручань, які були проведені до операції за Masquelet, можна стверджувати, що ця технологія передбачає радикальний хірургічний дебридмент. Адже саме якісне виконання санації під час першого етапу лікування є ключем до успіху використання цієї методики, особливо за агресивної антибіотикорезистентної мікрофлори.

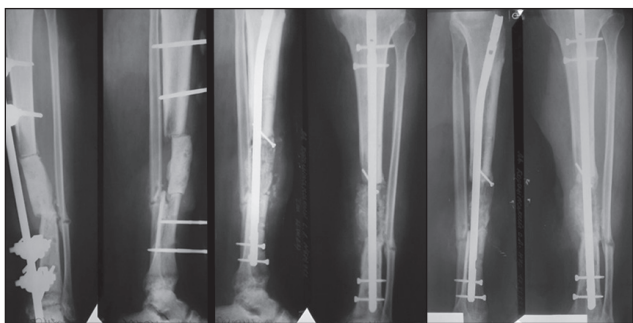


Рис. 2. Клінічний випадок № 1. Пацієнт К, 35 років, пролікований за методикою Masquelet, дефект великогомілкової кістки склав 9 см



Рис. 3. Клінічний випадок № 2. Пацієнт В, 42 років, пролікований за методикою Masquelet, дефект великогомілкової кістки склав 5 см

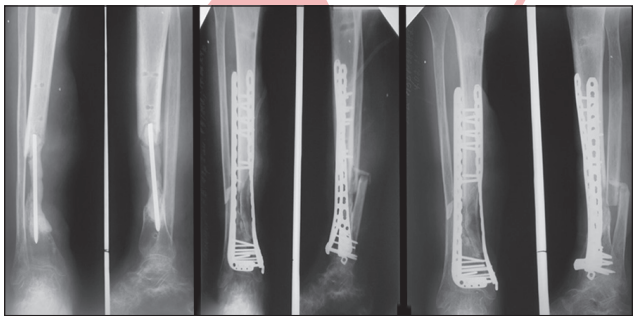


Рис. 4. Клінічний випадок № 3. Пацієнт Н, 29 років, пролікований за методикою Masquelet, дефект великогомілкової кістки склав 7 см

G. D. Chloros і співавт. стверджують, що в разі випадку інфікування радикальна санація кістки є життєво важливою, а цементний спейсер допомагає створити та підтримувати асептичне середовище до другого етапу лікування [12].

Також ключове значення має наявність ушкодження магістральних артерій і ступінь трофічних порушень, які супроводжуються більшою ішемією оточуючих м'яких тканин і ставлять під сумнів життєздатність певних її структур, що в результаті вимагає більшої кількості втручань (дебридментів і пластики зі заміщенням дефекту м'яких тканин) для повного очищення рани від патологічно змінених тканин та, як наслідок, елімінації інфекційного процесу та загоєння м'яких тканин.

Тобто, якщо порівнювати з транспортом кістки за Ілізаровим, де одномоментна санація не є критичною, то видалення усіх нежиттєздатних тканин, патологічних грануляцій та секвестрованих уламків кісток є обов'язковим на етапі санації під час застосування технології Masquelet. Проведення якісного дебридменту дозволяє зменшити кількість оперативних втручань та час лікування пацієнтів із критичними кістковими дефектами.

Ключем для успішного виконання другого етапу й отримання позитивного результату є створення «мембрани стороннього тіла» навколо цементантибіотикового спейсера. Адекватне утворення мембрани можливе виключно за умови ремісії інфекційного процесу, що забезпечується першим етапом лікування.

Техніка Masquelet вимагає хорошого стану шкіри навколо ділянки кісткового дефекту [13]. Т. Dugan та співавт. наголошують, що реконструкцію кістки можна виконувати лише після повного загоєння будь-якого ушкодження м'яких тканин [14]. Адже за наявності дефекту шкіри чи/або м'язів, ураженні магістральних артерій, мало-гомілкового та великогомілкового нервів зрощення відбувалось значно повільніше. За наявності шкірних і м'язових дефектів варто розглянути варіанти їх заміщення або обрати іншу методику лікування.

Окремою проблемою є мультирезистентна флора, яка потребує особливого підходу до лікування. Наведені дані також дають нам можливість припустити, що поліструктурні поранення зі значними дефектами тканин частіше поєднувались із виявленням такого збудника як *Klebsiella pneumoniae*. Наявність його та *Pseudomonas aureginosa* в рані порушує процеси репаративного остеогенезу, що проявляється

у вигляді тривалішого зрощення за використання технології Masquelet. Крім того, у разі виявлення *Pseudomonas aureginosa* для ерадикації збудника виникає потреба в більшій кількості хірургічних втручань, що спричинює зростання концентрації антибіотиків у цементних спейсерах на підготовчих етапах.

Висновки

У нашому ретроспективному дослідженні методика Masquelet продемонструвала себе як надійний метод заміщення критичних кісткових дефектів великогомілкової кістки після вогнепальних поранень ускладнених остеомієлітом. За правильного використання технології — перебування кісткового трансплантата вдалось досягнути у всіх пацієнтів, середній термін загоєння складав $(168,08 \pm 62,0)$ днів. Щільність регенерату, за нашими спостереженнями, досягає аналогічного здоровій кістці мінімум за рік після другого етапу лікування, проте в деяких випадках локальний остеопороз може спостерігатись ще кілька років.

Перевагами методу є його ефективність, яка не залежить від комплаєнсу з пацієнтом, що до прикладу є неможливим за використання методики Ілізарова; та досягнення консолідації навіть за надвеликих дефектів великогомілкової кістки, що перевищують 9 см.

Серед недоліків варто зауважити значну залежність термінів консолідації від стану м'яких тканин, бо за наявності дефектів шкірних покривів, м'язів і судинно-нервових пучків вони значно подовжувались. Також терміни обумовлюються наявністю в рані патологічного збудника. *Klebsiella pneumoniae* або *Pseudomonas aureginosa* достовірно ($p < 0,05$) збільшують терміни консолідації та перебудови кісткового трансплантата.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Питання заміщення критичних кісткових дефектів великогомілкової кістки після вогнепальних поранень, ускладнених остеомієлітом, потребує подальшого вивчення та порівняння існуючих методик. Основним недоліком нашої роботи був її ретроспективний характер, що обмежувало більш детальне обстеження пацієнтів на етапах лікування. У подальшому потрібно проведення проспективних досліджень.

Інформація про фінансування. Автори заявляють про відсутність фінансової підтримки під час отримання результатів і написання цієї статті.

Внесок авторів. Грицай М. П. — концептуалізація, методологія, планування дослідження; Колов Г. Б. — загальне редагування, контроль достовірності, остаточне узгодження; Половий А. С. — збір даних, написання оригінального тексту статті; Видерко Р. В. — підготовка ілюстрацій; Гордій А. С. — доповнення матеріалів; Сабаш В. І. — підготовка ілюстрацій, доповнення матеріалів,

Лисак А. С. — аналіз даних, формальний (статистичний) аналіз, інтерпретація результатів.

Список літератури

1. Zhang, H., Zhao, X., Yang, X., Zhang, X., Chen, X., Zhou, T., Xu, X., Song, M., Luo, S., Xie, Z., Xu, Y., & Shi, J. (2023). Comparison of internal and external fixation after debridement in the Masquelet technique for Cierny-Mader type IV tibial post-traumatic osteomyelitis. *Injury*, 54(2), 422–428. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.11.030>
2. Kazmirschuk, A., Yarmoliuk, Y., Lurin, I., Gybalo, R., Burianov, O., Derkach, S., & Karpenko, K. (2022). Ukraine's Experience with Management of Combat Casualties Using NATO's Four-Tier "Changing as Needed" Healthcare System. *World journal of surgery*, 46(12), 2858–2862. <https://doi.org/10.1007/s00268-022-06718-3>
3. Burianov, O., Yarmoliuk, Y., Derkach, S., Gritsai, M., Klapchuk, Y., Los, D., Omelchenko, T., & Kolov, G. (2023). Criteria for predicting risks in the case of replacing an external fixator with an internal fixator during the treatment of gunshot fractures of the extremities. *Orthopaedics, traumatology and prosthetics*, (1), 5–9. <https://doi.org/10.15674/0030-5987202315-9>
4. Lurin, I., Burianov, O., Yarmoliuk, Y., Klapchuk, Y., Derkach, S., Gorobeiko, M., & Dinets, A. (2024). Management of severe defects of humerus in combat patients injured in Russo-Ukrainian war. *Injury*, 55(2), 111280. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2023.111280>
5. Xie, J., Wang, W., Fan, X., Li, H., Wang, H., Liao, R., Hu, Y., & Zeng, M. (2022). Masquelet technique: Effects of vancomycin concentration on quality of the induced membrane. *Injury*, 53(3), 868–877. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2021.11.003>
6. Gouron R. (2016). Surgical technique and indications of the induced membrane procedure in children. *Orthopaedics & traumatology, surgery & research : OTSR*, 102(1 Suppl), S133–S139. <https://doi.org/10.1016/j.otrsr.2015.06.027>
7. Ahmed, H., Shakshak, M., & Trompeter, A. (2025). A review of the Masquelet technique in the treatment of lower limb critical-size bone defects. *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, 107(6), 383–389. <https://doi.org/10.1308/rcsann.2023.0022>
8. Wang, P., Wu, Y., Rui, Y., Wang, J., Liu, J., & Ma, Y. (2021). Masquelet technique for reconstructing bone defects in open lower limb fracture: Analysis of the relationship between bone defect and bone graft. *Injury*, 52(4), 988–995. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.12.009>
9. Alford, A. I., Nicolaou, D., Hake, M., & McBride-Gagyi, S. (2021). Masquelet's induced membrane technique: Review of current concepts and future directions. *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society*, 39(4), 707–718. <https://doi.org/10.1002/jor.24978>
10. Tetsworth, K. D., Burnand, H. G., Hohmann, E., & Glatt, V. (2021). Classification of Bone Defects: An Extension of the Orthopaedic Trauma Association Open Fracture Classification. *Journal of orthopaedic trauma*, 35(2), 71–76. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001896>
11. Tennyson, M., Krzak, A. M., Krkovic, M., & Abdulkarim, A. (2021). Cambridge Protocol for Management of Segmental Bone Loss. *Journal of orthopaedic case reports*, 11(1), 45–50. <https://doi.org/10.13107/jocr.2021.v11.i01.1958>
12. Chloros, G. D., Kanakaris, N. K., Harwood, P. J., & Giannoudis, P. V. (2022). Induced membrane technique for acute bone loss and nonunion management of the tibia. *OTA international : the open access journal of orthopaedic trauma*, 5(2 Suppl), e170. <https://doi.org/10.1097/OI9.0000000000000170>
13. Wang, Z., Zou, C., Zhan, X., Li, X., Ghen, G., & Gao, J. (2024). Application of double plate fixation combined with Masquelet

technique for large segmental bone defects of distal tibia: a retrospective study and literature review. *BMC surgery*, 24(1), 103. <https://doi.org/10.1186/s12893-024-02396-1>

14. Dugan, T. R., Hubert, M. G., Siska, P. A., Pape, H. C., &

Tarkin, I. S. (2013). Open supracondylar femur fractures with bone loss in the polytraumatized patient — Timing is everything!. *Injury*, 44(12), 1826–1831. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.03.018>

Стаття надійшла до редакції 07.08.2025	Отримано після рецензування 31.10.2025	Прийнято до друку 14.11.2025
---	---	---------------------------------

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF THE MASCLÉ TECHNIQUE IN THE TREATMENT OF CRITICAL TIBIAL DEFECTS AFTER GUNSHOT WOUNDS COMPLICATED BY OSTEOMYELITIS

M. P. Gritsai ¹, G. B. Kolov ¹, A. S. Polovyi ², R. V. Viderko ¹, A. S. Gordi ¹, V. I. Sabadosh ¹, A. S. Lysak ²

¹ SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine», Kyiv

² SI «Main Medical Clinical Centre of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine», Kyiv

✉ Mykola Gritsai, MD, Prof.: mgrytsai02@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1608-7879>

✉ Gennadii Kolov, MD, DMSci: Gennadiikolob@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4191-1997>

✉ Andrii Polovyi: andru.polovoy@ukr.net; <https://orcid.org/0009-0007-9849-8968>

✉ Roman Viderko, PhD: doc471400@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3427-8700>

✉ Andrii Gordi: asgordiy@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5909-3297>

✉ Vasyl Sabadosh: sabadoshv@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3214-3298>

✉ Andrii Lysak, PhD: dr.andrew.lysak@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9042-8884>