

Основні хірургічні методи заміщення критичних кісткових дефектів великогомілкової кістки. (Огляд літератури). Друга частина

Грицай М.П.¹, Колов Г.Б.¹, Сабадош В.І.¹, Видерко Р.В.¹, Половий А.С.¹✉, Гуцайлюк В.І.¹

Резюме. Дана частина огляду літератури присвячений розгляду основних методів заміщення критичних кісткових дефектів великогомілкової кістки, які неможливо замінити за допомогою використання кісткової аутопластики. Проведений пошук за базою PubMed за період 2010 - 2023 роки, перевага надавалась матеріалу останніх 5 років, показані переваги та недоліки найпопулярніших методів лікування. Ця стаття містить описовий несистематичний огляд поточної літератури щодо методів заміщення кісткових дефектів великогомілкової кістки і можливі напрями майбутніх досліджень. Ретельний пошук у базі даних PubMed було здійснено з використанням відповідних пошукових термінів, з рецензованими статтями англійською мовою, визначеними та оціненими. Не існувало жорстких критеріїв включення чи виключення, за якими відбирали статті для рецензування повного тексту. Натомість було зроблено суб'єктивну оцінку відповідності окремих статей загальному наративному огляду та огляду хірургічних технік, що зрештою призвело до посилань на 40 статей.

Ключові слова: кістковий дефект; критичний дефект; великогомілкова кістка; кісткова аутопластика; техніка Masquelet; апарат Ілізарова; васкуляризований фібулярний трансплантант.

Вступ

Дана частина огляду літератури присвячена заміщенню критичних кісткових дефектів, зокрема великогомілкової кістки, коли використання кісткової аутопластики є неможливим для заміщення дефекту або ж є недоцільним внаслідок великого об'єму аутотрансплантанту, який необхідно перемістити в зону дефекту.

Черезкістковий дистракційно-компресійний остеосинтез в апараті зовнішньої фіксації за Ілізаровим

З кінця минулого століття цей метод став життєво важливим методом заміщення втрати кісткової тканини в усьому світі, і отримав назву невідомої кісткової пластики за Ілізаровим. Було виявлено, що ДО (дистракційний остеосинтез) забезпечує вирішення багатьох складних проблем, оскільки завдяки цьому методу можливо вирішити нещасливу тріаду в реконструкції кінцівки одночасно, яка включає в себе втрату кісткової ткани-

ни, дефект м'яких тканин та наявність інфекції [1]. Для лікування дефектів великогомілкової кістки в основному використовують циркулярний фіксатор Ілізарова, так як дефект великогомілкової кістки більше 6 см є прямим показанням до застосування кільцевого фіксатора [2], у той час, як використання одно площинного, часто латерального фіксатора є більш поширеним на стегновій кістці [1].

Загалом техніка Ілізарова не агресивна, єощадною по відношенню до навколишніх м'яких тканин, що забезпечує малу крововтрату на операційному столі. Післяопераційна інтенсивна терапія для цієї методики не потрібна. Кілька важливих факторів, які забезпечують чудовий результат методу Ілізарова – це жорсткість як циркулярного, так і поперечного з'єднання зовнішньої фіксації, управління положенням фрагментів та транспортування кістки. Ще однією з переваг лікування методом Ілізарова є те, що пацієнт може активно рухати прооперованою кінцівкою для покращення фізіологічної функції та стимулювання загоєння кісток. Таким чином це мінімізує ризик атрофії м'язів та є профілактикою остеопорозу [3].

Дослідження останніх років показують

✉ Половий А.С., andru.polovoy@ukr.net

¹ДУ «Інститут травматології та ортопедії НАМН України», Київ, Україна

ефективність загоєння кісткових дефектів від 90,3 до 100% випадків [4,5]. Теоретично це ідеальний метод, але в практичній клінічній роботі можуть виникнути певні труднощі [6].

Найбільш поширені серйозні ускладнення включають: контрактури суглобів (37,58%), сповільнене зрощення місця стикування (19,46%), осьове відхилення (18,79%), переломи (8,05%) і контрактури м'язів гомілки (6,04%). Найбільш поширеними незначними ускладненнями є защемлення м'яких тканин (24,51%), інфекція в області стержнів (22,18%) та контрактури м'язів стопи (10,12%) [7]. Також серйозною проблемою класичного методу Ілізарова є велика тривалість періоду лікування та дискомфорт, що пов'язаний з носінням зовнішнього фіксатора і є вагомим фактором, пов'язаним з цим типом лікування [5]. Це підтверджує частота проведення ампутацій у 1,6% пацієнтів за їх наполяганням [8].

Для оцінки термінів проведеного лікування використовують: час зовнішньої фіксації (ЧЗФ) – являє собою кількість повних днів, протягом яких зовнішній фіксатор був прикріплений до кістки. Індекс зовнішньої фіксації (ІЗФ) – визначався як ЧЗФ (дні), поділений на загальну довжину (см) дефекту [9].

У деяких дослідженнях ІЗФ (середнє значення 1,36 місяців/см) був використаний для оцінки прогресу загоєння кісток, у інших дослідженнях замість нього використовувався індекс загоєння (середнє значення 45,57 днів/см). Це загальні середні значення даних показників зазначених у літературі. Шляхом нескладної математики, опираючись на отримані дані виходить, що для заміщення дефекту у 8 см потрібно близько 360 днів. Слід також зазначити про збільшення ймовірності перелому в 3,7 рази, коли розмір дефекту великогомілкової кістки перевищує 8 см [5].

Для зменшення часу лікування група авторів Du, J. та ін. [9] застосували методику Masquelet у поєднанні з технікою транспортування кістки за Ілізаровим та назвали її «поршневою технікою». Поршнева техніка передбачає подібну процедуру на першому етапі, як і техніка Masquelet. На другому етапі видаляють кістковий цемент, не порушуючи індуковану мембрану і потім за допомогою зовнішньої фіксації проводять дистракційний остеогенез. Це дозволяє скоротити час зовнішньої фіксації та уникнути кісткової пластики на подальших етапах лікування. Середній індекс зовнішньої фіксації (ІЗФ) становив 42,32 днів/см у групі пацієнтів, що лікувались за допомогою «поршневої техніки» та 58,85 днів/см у групі пацієнтів, що лікувались стандартним методом дистракційного остеосинтезу. І хоча дослідження має відносно не-

великий розмір вибірки та короткий період спостереження, ця нова комбінована методика дає можливість вдосконалення методів лікування пацієнтів з дефектами кісток нижніх кінцівок.

Також в останні роки була введена модифікація традиційної техніки транспортування кістки, яка передбачає використання інтрамедулярного стрижня у поєднанні з АЗФ за Ілізаровим. Отримані результати показали, що використання транспортування кістки через ІМС (інтрамедулярний стрижень) може ефективно зменшити тривалість використання зовнішнього фіксатора, при цьому зберігаючи усі переваги зовнішньої фіксації, включаючи високу швидкість зрощення для дефектів кістки критичного розміру [10]. Наступними перевагами даної методики є нижча вартість через коротший термін лікування, нижчий ризик ускладнень та більш швидка реабілітація. [11] Однак через одночасне використання апаратів внутрішньої та зовнішньої фіксації пацієнти мають великий ризик інфекційних ускладнень [12].

Комбіновані методики вимагають ретельного аналізу ситуації та передопераційної підготовки. Для фіксації кісткових дефектів, коли транспортування кістки є обов'язковим, імплантом вибору є зовнішня фіксація, яка замінює внутрішній фіксатор. Чи справді зовнішній фіксатор є заміною внутрішньої фіксації, чи діє як посилення внутрішньої фіксації визначити дуже важко, оскільки в складних ортопедичних ситуаціях зовнішній фіксатор корисний в обох ситуаціях [13]. Основною умовою для використання даної методики є інтрамедулярний канал, який в діаметрі діафіза має бути не менше 9 мм. На відміну від техніки подовження стегнової кістки через інтрамедулярний цвях, циркулярний зовнішній фіксатор є кращим для великогомілкової кістки, так як дозволяє контролювати осьові деформації, що можуть виникати в процесі лікування [14].

Якщо ж говорити про об'єктивні критерії успішності лікування, то вони наступні – Vas A. та ін. [11] отримали середній ІЗФ при традиційному підході за умови використання виключно зовнішнього фіксатора 1,85 місяця/см, а при транспортування через ІМС – середній показник, що був отриманий склав 0,55 місяців/см. Vilen FE та ін. [14] вказують середню величину подовження 5,9 см (від 2 до 8). Середній час зовнішньої фіксації у даному дослідженні становив 90 днів (від 38 до 265). Середній індекс зовнішньої фіксації становив 15,8 днів/см (від 8,9 до 33,1), а середній індекс загоєння кістки становив 38 днів/см (від 30 до 60).

Методика лікування кісткових дефектів з використанням АЗФ за Ілізаровим та імплантованим ІМС є цінним доповненням до арсеналу ортопеда

для вирішення проблеми дефектів стегнової та великогомілкової кісток, покращуючи комфорт пацієнта під час лікування та дозволяє уникнути ускладнень пов'язаних з тривалою зовнішньою фіксацією. Не менш важливою перевагою є можливість дозволити пацієнту переносити повну вагу відразу після процедури стикування, завдяки стабільності конструкції.

Зважаючи на ефективність оригінальної технології та її численні модифікації доведено, що методика Ілізарова має більшу ефективність при довжині дефекту великогомілкової кістки менше 12 см, тоді як перенесення вільної васкуляризованої малоомілкової кістки є більш ефективним при довжині дефекту великогомілкової кістки 12 см і більше [15].

Васкуляризований кістковий аутотрансплантат малоомілкової кістки

Використання васкуляризованої малоомілкової кістки — це загально прийнята хірургічна техніка, яка застосовується для відновлення великих (розміром >10 см) кісткових дефектів або тих, які не вдалось вилікувати традиційними методами трансплантації [16]. Проте використання вільного васкуляризованого фібулярного трансплантата як варіанту лікування таких великих дефектів є технічно складним і вимагає спеціальних навичок [17].

Було розроблено три різні варіанти використання васкуляризованого фібулярного трансплантата: один васкуляризований фібулярний трансплантат, двоствольна техніка та комбінація васкуляризованої малоомілкової кістки з алотрансплантатом, або так звана техніка Саранна [18].

Центральну частину діяфізу малоомілкової кістки забирають для більшості показань, оскільки дистальні 5 см кістки важливі у забезпеченні стабільності гомілковостопного суглоба. Проксимальні 5 см або хоча б на 2 см нижче шийки малоомілкової кістки також залишають для захисту малоомілкового нерва та збереження здатності кінцівки переносити вагу тіла. У деяких випадках може знадобитися трансплантат на 2-3 см довший за кістковий дефект, оскільки для фіксації може знадобитися накладання трансплантата на кістку [19]. У дорослих пацієнтів можна отримати трансплантат малоомілкової кістки розміром до 25–26 см.

Класичний одиночний васкуляризований фібулярний трансплантат через невідповідність поперечного перерізу має підвищені ризики до стресових переломів, особливо якщо використовувати цей метод на нижніх кінцівках. Щоб запобігти цьому ускладненню були розроблені такі методи,

як двоствольна техніка та техніка Саранна. Завдяки особливостям подвійної васкуляризації та загалом адекватному кровопостачанню малоомілкової кістки, двоствольна техніка передбачає, що фібулярний трансплантат може бути поперечно остеотомований для отримання двох частин. Ця процедура дозволяє подвоїти площу поперечного перерізу трансплантату і збільшити його здатність витримувати вагу. Однак довжина дефекту кістки, для якого можна використовувати цю техніку, не повинна перевищувати 13 см [18]. У дослідженні, що визначало стрес-навантаження для дефектів великогомілкової кістки розміром 15 см, стрес-навантаження було у 2 рази більшим, ніж для дефекту розміром 5 см при перенесенні одиночної вільної малоомілкової кістки, тоді як стрес за фон Мізесом суттєво не збільшувався при застосуванні двостволової техніки.

Отже, по можливості, довжина кістки для трансплантації не повинна перевищувати 15 см. При дотриманні цієї умови при вільному одиночному перенесенні малоомілкової кістки у поєднанні із зовнішньою фіксацією для лікування дефекту великогомілкової кістки, зменшується ризик перелому кісткового трансплантата та його незрощення через занадто високу напругу Фон Мізеса та зміщення між фрагментами перелому [20].

Саранна та ін. [21] описав методику реконструкції великих діяфізарних дефектів, яка поєднувала васкуляризований фібулярний трансплантат із звичайним алотрансплантатом. Нерідко використовують попередньо підготовані діяфізи довгих трубчастих кісток (стегнова, великогомілкова) з трепанаційним отвором для накладання мікросудинного анастомозу. Ідея полягає в тому, щоб підвищити механічні властивості алотрансплантата за допомогою біологічної активності васкуляризованого фібулярного трансплантата, таким чином прискоривши процес загоєння, мінімізуючи випадки незрощення та дозволяючи раннє навантаження на прооперовану кінцівку. Підвищення стабільності реконструкції за допомогою алотрансплантата скорочує час загоєння. Васкуляризований трансплантат малоомілкової кістки, зі свого боку, індукує ревазуляризацію діяфізарного сегмента опори, полегшуючи його перебудову. Крім того, хоча алотрансплантат, у певній мірі, забезпечує малоомілкову кістку захистом від механічних навантажень на початкових стадіях загоєння при цьому не перешкоджає гіпертрофії малоомілкової кістки, яка бере на себе функцію алотрансплантата, коли останній резорбується. Найбільш прийнятною методикою є розміщення малоомілкового трансплантата в інтрамедулярному каналі кістки, що забезпечує

тісний контакт між трансплантатом та «кісткою-господарем». Крім того, методика може бути виконана екстремедулярно (техніка onlay) для лікування незрощень, пов'язаних з ізольованими алотрансплантатами [21].

У літературі показано, що поєднання кількох типів технік призводить до меншої кількості ускладнень та забезпечує сукупну перевагу. Combal, A. та ін. [22] повідомляють про використання нової техніки «Сarasquelet», яка є першою, що оцінює поєднання двох основних методик лікування масивних дефектів кістки, а саме, техніки Саранпа та Masquelet. Автори отримали задовільні результати та досягли повного одужання у своїх пацієнтів, проте невелика вибірка пацієнтів та малий час спостереження змушує ставитись з обережністю до отриманих результатів. У довгостроковому спостереженні необхідно оцінити більшу когорту пацієнтів з акцентом на поведінці малогомількової кістки, резорбції алотрансплантата та подальших функціональних результатах.

На гомілці великогомілкова кістка є основною кісткою, що переносить вагу тіла, а малогомількова кістка виконує функцію місця для прикріплення м'язів, зв'язок та забезпечує стабільність гомілковостопного суглоба. Фібула переносить лише 15% ваги тіла, і тому майже 70% діафіза малогомількової кістки можна використати для переміщення з іпсилатерального боку. Так звана процедура Huntington та зокрема її модифікації (розташування кістки не медіально чи позаду великогомілкової кістки, а інтрамедулярно) надає свої переваги, оскільки не вимагає навичок мікрохірургічної техніки та відповідного інструментального забезпечення, виключає ускладнення з боку донорської ділянки, що дозволяє виконувати операцію в умовах з обмеженими ресурсами.

Основна умова, яка забезпечує можливість використання малогомількової кістки, як трансплантата – це гіпертрофія, тобто адаптація до перенесення ваги тіла у післяопераційний період. Середні значення гіпертрофії становлять 254% у ранній післяопераційний період та 340% – у пізній період. У ранній післяопераційний період спостерігається швидка гіпертрофія трансплантата, яка з часом припиняється.[16]

Як і будь-яке оперативне втручання, перенесення ВМГК має свої ускладнення. Зведений мета-аналіз частоти ускладнень при перенесенні вільної малогомількової кістки показав середнє значення частоти ускладнень 39,4% (34,4 – 44,4%). Найбільшою групою ускладнень були переломи, які виникли у 24% пацієнтів від загальної кількості пацієнтів з ускладненнями. Незрощення було відмічене загалом у 10,3% випадків, про сповільне-

ну консолідацію повідомлялось у 16,4%. Інфекції, як поверхневі так і глибокі, були зареєстровані в 11,8% від загальної кількості ускладнень. Тромбоз судин складав 5,3% та призвів до збільшення кількості оперативних втручань переважно з приводу некрозу клаптя. Ускладнення з місця забору трансплантата теж складає вагому частку – до 10,7% від загальної кількості ускладнень, а саме: відмічалась контрактура I пальця стопи (28,2%), парестезії (15,4%), падіння стопи (12,8%), хронічний біль (10,9%), вальгусна деформація гомілки (7,6%), некроз шкіри (6,4%), проблеми з нервовими волокнами (6,4%), проблеми з сухожиллями (2,6%), нестабільність гомілковостопного суглоба (2,6%), часткова втрата трансплантата (2,6%), гематома (1,9%), післяопераційна грижа (1,3%), розходження країв рани (1,3%). Проте, переважна більшість ускладнень донорської ділянки (близько 90%) можуть бути вирішені без необхідності подальшого оперативного втручання [23].

Тривимірні металеві імпланти

Зі швидкими реформами та інноваціями біомедичних металевих матеріалів і адитивного виробництва (широко відомого як 3D-друк), виготовлення нестандартних каркасів з метою заміни традиційних кісткових замінників для відновлення критичних дефектів стало безпрецедентно доступним. Синтетичні металеві імпланти є відповідними кандидатами для підтримки початкової та тривалої механічної стабільності, оскільки їх жорсткість і структуру можна регулювати відповідно до вимог конкретного випадку. Покладаючись на 3D-друк, можна створити складну геометричну конфігурацію та мікроархітектуру майбутнього імплантата. Серед багатьох біомедичних металевих матеріалів титан (Ti) та його сплави мають більшу перевагу завдяки гарній біосумісності, прийнятній пластичності та задовільній механічній міцності, чудовій стійкості до корозії [24].

Для створення моделі першим кроком є КТ обстеження пацієнта за стандартними протоколами сканування. Примітно, що вища роздільна здатність, ніж зазвичай клінічно рекомендована для комп'ютерної томографії (КТ), підвищить точність як анатомічної моделі, так і дизайну каркаса. Згодом сегментація даних КТ-зображень виконується за допомогою спеціального програмного забезпечення. Рекомендується додавати будь-яке пристосування хірургічних методів фіксації (накладні пластини або інтрамедулярні цвяхи) до моделі анатомічного дефекту перед проектуванням каркаса. Також рекомендується використовувати у масштабі 1 до 1 анатомічні моделі ділянки кісткового дефекту з плановою (внутрішньою) фіксацією

та без неї, щоб фізично імітувати співставлення та точність каркаса. Каркас розробляється цифровим способом за допомогою програмного забезпечення: створюється базова 3D-форма, дещо змінюється, щоб відповідати пустоті в кістці, і стратегічно розміщується, щоб покрити та заповнити місце дефекту. У разі сегментарних дефектів і порожнеч правильної форми звичайною практикою є створення 3D-моделі контрлатеральної ділянки та використання дзеркальної версії цієї моделі для проектування каркаса. Однак при дефектах кістки, де потрібний більш складний підбір геометрії, реконструкція потребує ручного втручання. Після правильного розміщення базової форми виконується логічне віднімання (базова форма мінус модель дефекту). Це формує геометрію місця дефекту на базовій формі. Зовнішня поверхня скульптурної базової форми потім формується вручну (з використанням широкого спектру цифрових інструментів для моделювання сітки) навколо дефекту, щоб забезпечити належне покриття, щільне прилягання та відповідну товщину поверхні на протязі всього каркасу, щоб підтримувати стабільність. Результатом є дві 3D-моделі: дефектна кістка та частина каркаса, яка підходить до неї, аналогічно двом шматочкам 3D-пазла, які доповнюють один одного. Індивідуально спланований метод стабілізації дефекту, такий як інтрамедулярний цвях або накладний остеосинтез спеціалізованою пластиною, впливає на загальний дизайн каркаса. Крім того, частини каркаса повинні мати можливість вставлятися в порожнину дефекту, не перешкоджаючи існуючій структурі кістки [25].

Основна мета лікування великих кісткових дефектів – забезпечити швидке навантаження на уражену кінцівку.[26] Технологія 3D-друку з'явилася з метою скоротити час операції та підвищити ефективність хірургічної процедури, тобто скоротити час експозиції рани, зменшити дозу та/або час анестезії, і у свою чергу, мінімізувати ймовірність інфекції та хірургічних ускладнень як з боку основної рани так і з боку донорської ділянки [27]. Також на відміну від традиційних методів аутотрансплантації, технологія 3D-біодруку може заощадити тижні передопераційної підготовки, що теж призводить до ранньої реабілітації та менших ускладнень після операції [28].

Проте якщо модель каркаса розроблена неправильно, це може призвести до негативних наслідків, таких як відмирання тканин, тривалий час загоєння та підвищений ризик інфекції, що і так є достатньо суттєвим, враховуючи розмір внутрішнього імплантат [29]. Слід відмітити і достатньо велику вартість даної технології враховуючи передопераційне планування, час витрачений хі-

рургом і суміжними спеціалістами та необхідність спеціалізованого обладнання.

Хоча в літературі зазначено про успішне лікування кісткових дефектів < 15 см даною методикою та вказано що пацієнти швидко відновлювались, навантажуючи кінцівку та повернулись до повсякденного життя, проте ці результати є короткостроковими. Терміни спостереження у цих дослідженнях близько двох років, а вибірки пацієнтів достатньо малі, що змушує з обачністю відноситись до отриманих результатів у цих дослідженнях. Як зазначають автори, запропонована інноваційна методика лікування є ефективним варіантом реконструкції критичних дефектів діафізарних кісток нижніх кінцівок, проте вимагає середньо та довгострокових досліджень та більшої вибірки хворих [24,30,31,32].

Ампутація

Огляд літератури присвячений критичним кістковим дефектам показує, що 80–90% піддаються реконструкції звичайними методами. До них відносяться вкорочення кінцівки, невазуляризований кістковий аутотрансплантат, відстрочений невазуляризований аутотрансплантат розміщений у мембрані Masquelet, дистракційний остеогенез і васкуляризована малогомілкова кістка з алотрансплантатом або без нього [25].

Лікування великого кісткового дефекту є вартісним, складним, не завжди з передбачуваним результатом і якщо пацієнт не бажає тривалого лікування, ампутація залишається єдиним варіантом. Початкова вартість ампутації значно нижча порівняно з відновленням кінцівки, але в довгостроковій перспективі витрати на обслуговування протезів значно вищі, ніж на успішну реконструкцію [16].

Ампутацію слід розглядати як варіант лікування, а не як неспроможність запропонувати життєздатне для кінцівки лікування. З появою сучасного протезування функціональні можливості людей з резидуальними кінцівками значно зросли. Ампутація може призвести до кращого функціонального результату, ніж погано врятована кінцівка в кінці довгого фінансового, емоційного та трудомісткого шляху відновлення. Рішення про рекомендацію ампутації має бути прийняте на ранній стадії, щоб отримати максимальну користь від лікування [33]. Функціональні результати серед пацієнтів суттєво не відрізняються між реконструкцією кінцівки та ранньою первинною ампутацією при мінімальному періоді спостереження в сім років, підкреслюючи необхідність оптимізації рішень сортування з метою уникнення непотрібних процедур реконструкції кінцівки та тривалого відстроченого

шляху до ампутації [34]. Рішення між збереженням кінцівок або радикальним лікуванням ґрунтується на оцінці шкали MESS, але що є більш важливим, ґрунтується на досвіді хірурга. У короткостроковій перспективі рання ампутація також призводить до зменшення кількості інфекцій і ускладнень загалом [35].

Показаннями до ранньої ампутації є наявність ушкоджень кісток або м'яких тканин, нервово-судинні пошкодження, які не підлягають реконструкції, значна втрата шкіри та м'яких тканин у підшовній ділянці стопи, майже повне травматичне відчленування, масивні розтрощення та консенсус на зустрічі мультидисциплінарної групи, консиліумі. Незважаючи на те, що кількість пацієнтів, яким проводяться операції з реконструкції кінцівок, експоненціально зростає за останні десятиліття завдяки прогресу в реконструктивних техніках, операція порятунку кінцівок все ще має значний ризик розвитку ускладнень та смертності. З іншого боку, рання ампутація дозволяє пацієнтам швидше відновлюватися, зменшує термін перебування в лікарні та знижує фінансові витрати. Однак, ампутація – це процедура, яка змінює життя і потребує значної функціональної корекції пацієнта. Таким чином, цілісна методологія, яка враховує усі змінні за допомогою мультидисциплінарного підходу при виборі методів хірургічного лікування пацієнтів зі складними травмами кінцівок, є обов'язковою. Пацієнта необхідно залучати до процесу прийняття клінічних рішень із самого початку, а його побажання завжди повинні враховуватися командою лікарів [36]. Доведено, що порятунок кінцівки є більш психологічно прийнятним і, отже, коли це можливо, слід намагатися врятувати травмовану кінцівку. Метою реконструкції нижньої кінцівки є досягнення стабільної фіксації скелета, адекватне покриття м'якими тканинами, що дало б найкращі результати щодо з'єднання кісток, сенсорної та моторної функції [37].

На завершення варто зазначити, що функціональна кінцівка, до прикладу, це може бути ампутація нижче коліна з раннім протезуванням, оскільки пацієнт із таким ступенем відновлення після важкої травми кінцівки, швидше за все повідомить про кращі функціональні результати, ніж пацієнт з нефункціональною кінцівкою, яку намагалися врятувати. Крім того, хоча ампутація кінцівки може дати кращі ранні функціональні результати за менших витрат на ранніх етапах, при комплексній оцінці протягом життя пацієнта, порятунок кінцівки забезпечує кращу функцію та нижчу загальну вартість лікування [36].

Висновки

Критичні діафізарні дефекти довгих трубчастих кісток є складною та відносно поширеною клінічною проблемою в ортопедичній хірургії. За своїм визначенням критичні дефекти є показанням до оперативного втручання, що призводить до мільйонів хірургічних процедур на рік у всьому світі, а віддалені результати часто обмежені високою частотою ускладнень та повторних операцій, з можливими незадовільними функціональними результатами [38,39]. Втрата кісткової тканини може бути наслідком дії різних травмуючих факторів: високоенергетичної цивільної травми, вогнепального чи осколкового поранення внаслідок військових дій, резекції пухлини, вроджених дефектів, резекції кістки через незрощення, некроз чи остеомієліт [40]. У цьому огляді представлені сучасні варіанти реконструкцій критичних кісткових дефектів, зокрема великогомілкової кістки. Лікування є складним завданням як для лікуючого хірурга так і для пацієнта та його оточення через труднощі загоєння, супутні ураження та високий ризик ускладнень, що зумовлює необхідність повторного втручання. У будь-якому випадку спочатку потрібно визначити наявність ускладнюючих факторів, таких як наявність інфекції чи пухлини, відновити втрачені м'які тканини, перш ніж розпочати заміщення дефекту. Процес тривалого лікування є складним для всіх його учасників і потребує повної довіри та співпраці пацієнта і оперуючого хірурга. Не менш важливим є правильний і оптимальний вибір методики лікування і використаної техніки. Проблеми, пов'язані з реконструкцією сегментарного дефекту, зумовлені структурною та функціональною важливістю довгих трубчастих кісток, а також високим механічним навантаженням на них, особливо на кістки нижніх кінцівок.

Мета цього огляду літератури полягала в тому, щоб зрозуміти потенціал і обмеження різних доступних хірургічних методів лікування, що використовуються для вирішення проблеми критичних дефектів, зосередившись на зрощенні, ускладненнях, повторному втручанні та частоті невдалих результатів. Основний висновок цього огляду полягає в тому, що різні методи лікування дають відповідні результати при усуненні критичних дефектів, але кожен з них має свої конкретні показання, сильні сторони та критичні аспекти. Незважаючи на загальну високу частоту остаточного зрощення, було виявлено і відносно високу частоту ускладнень та повторних хірургічних втручань з важливими відмінностями між різними методами лікування. Травматичні дефекти кісток створюють унікальні проблеми в лікуванні, тому

необхідний індивідуальний підхід для кожного конкретного пацієнта та відповідної клінічної ситуації. Правильний підхід слід обирати, розглядаючи кожного пацієнта окремо, зважуючи плюси та мінуси кожної методики, прагнучи досягти безпечних і відтворених результатів із низькою частотою повторного втручання. Існує безліч факторів, які впливають на результат лікування, і їх слід враховувати, обираючи метод лікування для кожного окремого пацієнта.

Враховуючи вище наведене, постає очевидна потреба в стандартизованих, належним чином розроблених порівняльних дослідженнях для пошуку найкращої клінічної практики в кожному конкретному випадку. По-перше, цей огляд задокументував, що для лікування критичних дефектів доступно багато варіантів, але жоден з них не є оптимальним рішенням з точки зору безпечних, задовільних і тривалих результатів, що спонукає до розробки кращих хірургічних стратегій. Крім того, при виборі найбільш оптимального методу для лікування необхідно враховувати багато аспектів, такі як результати первинного зрощення та часу до зрощення, а також ризики з точки зору ускладнень, повторних хірургічних втручань та частоти незадовільних результатів. В даному огляді підкреслені потенціали і обмеження різних варіантів лікування відповідно до різних клінічних сценаріїв, що могло б допомогти клініцистам зрозуміти переваги, недоліки та загалом найбільш відповідні варіанти при лікуванні критичних кісткових дефектів.

Конфлікт інтересів.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів під час написання статті. Ця публікація не була, не є і не буде предметом комерційної зацікавленості в будь-якій формі.

Список скорочень:

Час зовнішньої фіксації – ЧЗФ

Індекс зовнішньої фіксації – ІЗФ

Інтрамедулярний стрижень – ІМС

Васкуляризована малоомілкова кістка – ВМГК

Комп'ютерна томографія – КТ

References:

1. Borzunov DY, Kolchin SN, Malkova TA. Role of the Ilizarov non-free bone plasty in the management of long bone defects and nonunion: Problems solved and unsolved. *World J Orthop.* 2020 Jun 18;11(6):304-318. doi: 10.5312/wjo.v11.i6.304.
2. Rohilla R, Wadhvani J, Devgan A, Singh R, Khanna M. Prospective randomised comparison of ring versus rail fixator in

- infected gap nonunion of tibia treated with distraction osteogenesis. *Bone Joint J.* 2016 Oct;98-B(10):1399-1405. doi: 10.1302/0301-620X.98B10.37946.
3. Miraj F, Nugroho A, Dalitan IM, Setyarani M. The efficacy of ilizarov method for management of long tibial bone and soft tissue defect. *Ann Med Surg (Lond).* 2021 Jul 31; 68:102645. doi: 10.1016/j.amsu.2021.102645.
4. Cao Z, Zhang Y, Lipa K, Qing L, Wu P, Tang J. Ilizarov Bone Transfer for Treatment of Large Tibial Bone Defects: Clinical Results and Management of Complications. *J Pers Med.* 2022 Oct 27;12(11):1774. doi: 10.3390/jpm12111774.
5. Aktuglu K, Erol K, Vahabi A. Ilizarov bone transport and treatment of critical-sized tibial bone defects: a narrative review. *J Orthop Traumatol.* 2019 Apr 16;20(1):22. doi: 10.1186/s10195-019-0527-1.
6. Li J, Li M, Wang W, Li B, Liu L. Evolution and Development of Ilizarov Technique in the Treatment of Infected Long Bone Nonunion with or without Bone Defects. *Orthop Surg.* 2022 May;14(5):824-830. doi: 10.1111/os.13218.
7. Liu Y, Yushan M, Liu Z, Liu J, Ma C, Yusufu A. Complications of bone transport technique using the Ilizarov method in the lower extremity: a retrospective analysis of 282 consecutive cases over 10 years. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020 Jun 6;21(1):354. doi: 10.1186/s12891-020-03335-w.
8. Papakostidis C, Bhandari M, Giannoudis PV. Distraction osteogenesis in the treatment of long bone defects of the lower limbs: effectiveness, complications and clinical results; a systematic review and meta-analysis. *Bone Joint J.* 2013 Dec;95-B (12):1673-80. doi: 10.1302/0301-620X.95B12.32385.
9. Du J, Yin Z, Cheng P, Han P, Shen H. Novel piston technique versus Ilizarov technique for the repair of bone defect after lower limb infection. *J Orthop Surg Res.* 2021 Dec 4;16(1):704. doi: 10.1186/s13018-021-02844-1.
10. Amouzadeh Omrani F, Sarzaeem MM, Noorbakhsh M, Baroutkoub M, Afzal S, Barati H, et al. The Outcomes of Distraction Osteogenesis over an Intramedullary Nail for the Treatment of Bone Defects in Infectious Nonunions. *Arch Bone Jt Surg.* 2024;12(3):204-210. doi: 10.22038/ABJS.2023.73572.3407.
11. Bas A, Daldal F, Eralp L, Kocaoglu M, Uludag S, Sari S. Treatment of Tibial and Femoral Bone Defects With Bone Transport Over an Intramedullary Nail. *J Orthop Trauma.* 2020 Oct;34(10):e353-e359. doi: 10.1097/BOT.0000000000001780.
12. Wang Q, Ma T, Li Z, Zhang K, Huang Q. Bone transport combined with sequential nailing technique for the management of large segmental bone defects after trauma. *Front Surg.* 2024 Jan 18;11:1302325. doi: 10.3389/fsurg.2024.1302325.
13. Basu, S. (2022). External Fixator as an Augment and or Replacement of Internal Fixator. In: Banerjee, A., Biberthaler, P., Shanmugasundaram, S. (eds) *Handbook of Orthopaedic Trauma Implantology.* Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6278-5_19-1
14. Bilen FE, Kocaoglu M, Eralp L, Balci HI. Fixator-assisted nailing and consecutive lengthening over an intramedullary nail for the correction of tibial deformity. *J Bone Joint Surg Br.* 2010 Jan;92(1):146-52. doi: 10.1302/0301-620X.92B1.22637.
15. Ren GH, Li R, Hu Y, Chen Y, Chen C, Yu B. Treatment options for infected bone defects in the lower extremities: free vascularized fibular graft or Ilizarov bone transport? *J Orthop Surg Res.* 2020 Sep 24;15(1):439. doi: 10.1186/s13018-020-01907-z.
16. Agarwal P, Savant R, Sharma D. Huntington's procedure revisited. *J Clin Orthop Trauma.* 2019 Nov-Dec;10(6):1128-1131. doi: 10.1016/j.jcot.2019.06.011.

17. Gannamani S, Rachakonda KR, Tellakula Y, Takkalapally H, Maryada VR, Gurava Reddy AV. Combining non-vascularized fibula and cancellous graft in the masquelet technique: A promising approach to distal femur compound fracture management with large defects. *Injury*. 2023 Nov 22;55(2):111233. doi: 10.1016/j.injury.2023.111233.
18. Migliorini F, La Padula G, Torsiello E, Spiezia F, Oliva F, Maffulli N. Strategies for large bone defect reconstruction after trauma, infections or tumour excision: a comprehensive review of the literature. *Eur J Med Res*. 2021 Oct 2;26(1):118. doi: 10.1186/s40001-021-00593-9.
19. Taqi M, Raju S. *Fibula Free Flaps*. 2022 Sep 26. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 Jan.
20. Chen H, Zhang Y, Xia H, Wang F, Li Z, Chen X. Stability of tibial defect reconstruction with fibular graft and unilateral external fixation: a finite element study. *Int J Clin Exp Med*. 2014 Jan 15;7(1):76-83.
21. Lavía KF, Izquierdo Ó, Boccolini HS, Hernández R, Pérez G, Andrés M, Panadero M. Treatment of a case of septic tibial nonunion by the Capanna technique. *Trauma Case Rep*. 2023 Aug 14; 47:100912. doi: 10.1016/j.tcr.2023.100912.
22. Combal A, Thuau F, Fouasson-Chailloux A, Arrigoni PP, Baud'huin M, Duteille F, et al. Preliminary Results of the «Capasquelet» Technique for Managing Femoral Bone Defects-Combining a Masquelet Induced Membrane and Capanna Vascularized Fibula with an Allograft. *J Pers Med*. 2021 Aug 9;11(8):774. doi: 10.3390/jpm11080774.
23. Feltri P, Solaro L, Errani C, Schiavon G, Candrian C, Filaro G. Vascularized fibular grafts for the treatment of long bone defects: pros and cons. A systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023 Jan;143(1):29-48. doi: 10.1007/s00402-021-03962-5.
24. Liu B, Hou G, Yang Z, Li X, Zheng Y, Wen P, et al. Repair of critical diaphyseal defects of lower limbs by 3D printed porous Ti6Al4V scaffolds without additional bone grafting: a prospective clinical study. *J Mater Sci Mater Med*. 2022 Sep 14;33(9):64. doi: 10.1007/s10856-022-06685-0.
25. Laubach M, Suresh S, Herath B, Wille ML, Delbrück H, Alabdulrahman H, et al. Clinical translation of a patient-specific scaffold-guided bone regeneration concept in four cases with large long bone defects. *J Orthop Translat*. 2022 Jun 16; 34:73-84. doi: 10.1016/j.jot.2022.04.004.
26. Crovace AM, Lacitignola L, Forleo DM, Staffieri F, Francioso E, Di Meo A, et al. 3D Biomimetic Porous Titanium (Ti6Al4V ELI) Scaffolds for Large Bone Critical Defect Reconstruction: An Experimental Study in Sheep. *Animals (Basel)*. 2020 Aug 11;10(8):1389. doi: 10.3390/ani10081389.
27. Lin K, Sheikh R, Romanazzo S, Roohani I. 3D Printing of Bioceramic Scaffolds-Barriers to the Clinical Translation: From Promise to Reality, and Future Perspectives. *Materials (Basel)*. 2019 Aug 21;12(17):2660. doi: 10.3390/ma12172660.
28. Li L, Shi J, Ma K, Jin J, Wang P, Liang H, et al. Robotic in situ 3D bio-printing technology for repairing large segmental bone defects. *J Adv Res*. 2020 Nov 25; 30:75-84. doi: 10.1016/j.jare.2020.11.011.
29. Chinnasami H, Dey MK, Devireddy R. Three-Dimensional Scaffolds for Bone Tissue Engineering. *Bioengineering (Basel)*. 2023 Jun 25;10(7):759. doi: 10.3390/bioengineering10070759.
30. Hou G, Liu B, Tian Y, Liu Z, Zhou F. Reconstruction of Ipsilateral Femoral and Tibial Bone Defect by 3D Printed Porous Scaffold Without Bone Graft: A Case Report. *JBJS Case Connect*. 2022 Jan 5;12(1): e20.00592. doi: 10.2106/JBJS.CC.20.00592.
31. Guder WK, Harges J, Nottrott M, Podleska LE, Streitbürger A. Highly Cancellous Titanium Alloy (TiAl6V4) Surfaces on Three-Dimensionally Printed, Custom-Made Intercalary Tibia Prostheses: Promising Short- to Intermediate-Term Results. *J Pers Med*. 2021 Apr 28;11(5):351. doi: 10.3390/jpm11050351.
32. Tetsworth K, Woloszyk A, Glatt V. 3D printed titanium cages combined with the Masquelet technique for the reconstruction of segmental femoral defects: Preliminary clinical results and molecular analysis of the biological activity of human-induced membranes. *OTA Int*. 2019 Mar 12;2(1): e016. doi: 10.1097/OI9.0000000000000016.
33. Ferreira N, Tanwar YS. Systematic Approach to the Management of Post-traumatic Segmental Diaphyseal Long Bone Defects: Treatment Algorithm and Comprehensive Classification System. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. 2020 May-Aug;15(2):106-116. doi: 10.5005/jp-journals-10080-1466.
34. Tsang SJ, Ferreira N, Simpson AHRW. The reconstruction of critical bone loss: the holy grail of orthopaedics. *Bone Joint Res*. 2022 Jun;11(6):409-412. doi: 10.1302/2046-3758.116. BJR-2022-0186.
35. Barla M, Gavanier B, Mangin M, Parot J, Bauer C, Mainard D. Is amputation a viable treatment option in lower extremity trauma? *Orthop Traumatol Surg Res*. 2017 Oct;103(6):971-975. doi: 10.1016/j.otsr.2017.05.022.
36. Okereke I, Abdelfatah E. Limb Salvage Versus Amputation for the Mangled Extremity: Factors Affecting Decision-Making and Outcomes. *Cureus*. 2022 Aug 18;14(8): e28153. doi: 10.7759/cureus.28153.
37. Mahajan RK, Srinivasan K, Singh M, Jain A, Kapadia T, Tambotra A. Management of Post-Traumatic Composite Bone and Soft Tissue Defect of Leg. *Indian J Plast Surg*. 2019 Jan;52(1):45-54. doi: 10.1055/s-0039-1688097.
38. Stanovici J, Le Nail LR, Brennan MA, Vidal L, Trichet V, Rosset P, Layrolle P. Bone regeneration strategies with bone marrow stromal cells in orthopaedic surgery. *Curr Res Transl Med*. 2016 Apr-Jun;64(2):83-90. doi: 10.1016/j.retram.2016.04.006.
39. Nauth A, Schemitsch E, Norris B, Nollin Z, Watson JT. Critical-Size Bone Defects: Is There a Consensus for Diagnosis and Treatment? *J Orthop Trauma*. 2018 Mar. doi: 10.1097/BOT.0000000000001115.
40. McClure PK, Abouei M, Conway JD. Reconstructive Options for Tibial Bone Defects. *J Am Acad Orthop Surg*. 2021 Nov 1;29(21):901-909. doi: 10.5435/JAAOS-D-21-00049.

Main Surgical Methods of Critical Tibial Bone Defects Replacement (Literature Review). Part II

*Hrytsai M.P.¹, Kolov H.B.¹, Sabadosh V.I.¹, Vyderko R.V.¹, Polovyi A.S.¹, Hutsailiuk V.I.¹
¹SI «Institute of Traumatology and Orthopedics of NAMS of Ukraine», Kyiv*

Summary. *This part of literature review is devoted to the main methods of critical bone defects replacement of the tibia, which cannot be repaired by using bone autoplasty. A search in the PubMed database for the period 2010 - 2023 was carried out, with preference given to the material from the last 5 years; the advantages and disadvantages of the most popular methods of treatment are shown. This article provides a descriptive, non-systematic review of the current literature on methods of tibial bone defect replacement and possible directions for future research. A thorough search in the PubMed database was performed using relevant search terms, with peer-reviewed articles in English identified and evaluated. No strict inclusion or exclusion criteria were used to select articles for a full-text review. Instead, a subjective assessment of the relevance of individual articles to the overall narrative and surgical techniques review was made, which ultimately resulted in 40 articles being referenced.*

Key words: *bone defect; critical defect; tibia; bone autoplasty; Masquelet technique; Ilizarov apparatus; vascularized fibular graft.*