

УДК 616.728.3-089.843:616.714.4/.5-007.2](048.8)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872019397-103>

## Заміщення дефектів кісток під час тотального ендопротезування колінного суглоба (огляд літератури)

О. В. Танькут<sup>1</sup>, О. Г. Дудко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків

<sup>2</sup> ВДНЗ України «Буковинський державний медичний університет», Чернівці

*The number of primary and revision total knee arthroplasties is continuously increasing. Presence of bone defects is one of the challenging issues for these surgeries that affects significantly treatment results and increases expenses. Objective: to analyze methods of preoperative and intraoperative diagnostics of knee joint articulating surfaces bone defects and existing classifications according to their advantages and disadvantages, to substantiate the treatment strategy for cases with various types of bone defects. Methods: articles from PubMed, EBSCO and Google Scholar data bases were used for scientific review. Results: the main negative factors affecting the stability of prosthesis components are the size and the shape of bone defect, presence or absence of cortical layer, quality of bone tissue, as well as implant design and correct choice of material and technique for filling of the defect. Evaluation of materials of natural origin — different types of bone grafts and artificial augments made of metals and polymeric materials was performed. Methods of bone grafts preparation and their fixation are important for different types of bone defects. In more complicated cases individual guides and resection blocks, virtual prototyping technologies and 3D-printing should be used for individual manufacturing of endoprosthesis. Conclusions: Usage of modern materials and techniques for filling of bone defects in total knee arthroplasties requires precise preoperative planing and choice of proper technique. Structural or morselized bone allografts, bone cement alone or in combination with screws and meshes, metal or polymeric augments of various shapes should be used for small bone defects, depending from their type, but large bone defects require stems and individually produced oncological and hinge implants. Key words: arthroplasty, knee joint, bone defects, bioinert materials.*

*Количество первичных и ревизионных операций эндопротезирования коленного сустава постоянно растет. Наличие дефектов костей является одним из наиболее проблемных факторов при таких вмешательствах, значительно влияя на результаты лечения и увеличивая финансовые затраты. Цель: проанализировать методы пред- и интраоперационной диагностики дефектов суставных поверхностей коленного сустава, существующих классификаций, учитывая их преимущества и недостатки, обосновать тактику лечения для различных типов дефектов. Методы: публикации отобраны для анализа из баз данных PubMed, EBSCO, Google Scholar. Результаты: основным негативным фактором, влияющим на стабильность компонентов эндопротеза, является величина и форма дефекта кости, наличие или отсутствие коркового слоя, качество костной ткани, а также конструкция эндопротеза и правильный выбор материала и методики замещения дефекта. Проведена оценка материалов природного происхождения — различных типов костных трансплантатов и искусственных имплантатов из металлических и полимерных материалов. При выборе костных трансплантатов важен способ их подготовки и фиксации при определенных типах дефектов костей. В более сложных случаях следует воспользоваться специальными направляющими и резекционными блоками, технологиями виртуального прототипирования с использованием 3D-печати для изготовления индивидуальных эндопротезов. Выводы: применение современных материалов и методик замещения дефектов костей при тотальном эндопротезировании коленного сустава требует тщательного предоперационного планирования и подбора соответствующей методики. При небольших дефектах, в зависимости от типа, можно использовать структурированные и гомогенизированные костные аллотрансплантаты, костный цемент самостоятельно или в сочетании с винтами и сетками, металлические или полимерные имплантаты разнообразной формы, а для более крупных дефектов — стемы или индивидуально изготовленные онкологические и блочные образцы. Ключевые слова: эндопротезирование, коленный сустав, дефекты костей, биоинертные материалы.*

**Ключові слова:** ендопротезування, колінний суглоб, дефекти кісток, біоінертні матеріали

## Вступ

Одним із найбільших досягнень ортопедії ХХ ст. є розроблення методики ендопротезування колінного суглоба, яке вперше виконано в 1968 р. Головне призначення операції — усунення болю, який не зменшили ані медичні препарати, ані використання додаткової опори. У результаті цього хірургічного втручання, як правило, зменшується біль, виправляється деформація, повертається звичайна фізична активність. Зокрема, у США щороку виконують близько 500 тис. операцій первинного ендопротезування колінного суглоба [1] та 22 тис. — ревізійного, що потребує значних фінансових витрат [2]. В Україні також постійно зростає кількість операцій як первинного, так і ревізійного ендопротезування колінного суглоба. Ураховуючи значну потребу населення в таких хірургічних втручаннях, зазначена тенденція буде зберігатися й надалі [3].

За даними різних авторів, частка ревізійних хірургічних втручань становить 6,8 % (від 4,9 до 7,8 %), а в разі моноконділярного ендопротезування досягає 16,5 % [4, 5]. Майже половина спричинена механічними факторами (асептичне розхитування та міграція компонентів ендопротеза, перипротезні переломи) та супроводжується формуванням дефектів кісток [6]. При цьому дефекти можуть утворюватися на одній суглобовій поверхні (стегнової кістки чи кісток гомілки) або на кількох. Наявність дефектів у дистальному відділі стегнової кістки та проксимальному великогомілкової значно ускладнює імплантацію штучного колінного суглоба та негативно впливає на стабільність його компонентів. Хоча основним несприятливим чинником є величина та форма дефекту, якість кісткової тканини також потребує ретельної діагностики та класифікації. Вказані фактори впливають на результати лікування, особливо на віддалені. Усе зазначене створює передумови для пошуку оптимальніших матеріалів для пластики дефектів кісток, удосконалення методики ендопротезування [7, 8].

*Мета дослідження:* визначити найбільш придатні матеріали та методики їхнього застосування для пластики різних за типом і розміром дефектів суглобових поверхонь колінного суглоба під час проведення його ендопротезування.

Публікації для аналізу відібрано із баз даних PubMed, EBSCO, Google Scholar. За опублікованою інформацією виявлено, що дефекти кісток

ділянки колінного суглоба спостерігають у випадках як первинного, так і ревізійного ендопротезування, але характер і причини їхнього виникнення різні. Перед проведенням хірургічного втручання слід чітко визначити локалізацію, розміри та тип дефекту, позначити зони, де відбуватиметься фіксація компонентів ендопротеза, а також обрати матеріал і тип конструкцій для заміщення дефекту кісток.

У разі первинного ендопротезування колінного суглоба дефекти кісткової тканини можуть бути наслідками внутрішньо- та навколосуглобових переломів виростків стегнової та великогомілкової кісток, попередньо проведених остеотомій, деформівного артрозу з формуванням кіст і кутової деформації. За умов виникнення варусної чи вальгусної деформації колінного суглоба значно посилюється навантаження на виростки кісток гомілки з подальшим їхнім «просіданням», збільшенням дефекту та посиленням осьової деформації [9]. У разі варусної деформації частіше просідає задньомедіальна частина суглобової поверхні великогомілкової кістки, а для вальгусної типовим є формування центральних дефектів плато великогомілкової кістки, обмежених корковим шаром, та дефектів задньої дистальної ділянки зовнішнього виростка стегнової кістки [10].

Ураховуючи, що деформівний артроз переважно вражає медіальний відділ колінного суглоба (близько 75 % випадків), формування варусної деформації трапляється частіше. Глибина таких дефектів коливається в межах 8–10 мм, характерною є наявність склеротично зміненої кісткової тканини в субхондральній ділянці [11]. Проведення резекції суглобової поверхні великогомілкової кістки дозволяє здебільшого видалити ділянку дефекту без виконання заміщення. Наявність дефектів кісток глибиною до 12 мм і більше зі значним поширенням обумовлює застосування трансплантатів, оскільки може бути скомпromетованою ділянка прикріплення обхідної зв'язки [12].

Дефекти кісток заміщають матеріалами природного чи синтетичного походження. Найчастіше використовують різні види кісткових трансплантатів (ущільнені гомогенізовані, структуровані алотрансплантати), модульні металеві імплантати. Стабільність їх переважно залежить від розмірів дефекту та механічних властивостей обраного для заміщення матеріалу.

Від правильного вибору пластичного матеріалу залежить також і подальша стабільність компонентів ендопротеза. Суцільні металеві та модульні імплантати мають кращі механічні властивості, але в подальшому вони не можуть бути заміщені кістковою тканиною на відміну від кісткових трансплантатів [13].

В експериментах на тваринах із встановленням ендопротеза колінного суглоба цементного типу фіксації в поєднанні з аутокістковою пластикою доведено, що в гомогенізованих кісткових трансплантатах відбувалася реваскуляризація впродовж 6–8 міс. Зафіксовано повну перебудову трансплантатів із формуванням нової губчастої кісткової тканини, щільність якої суттєво не відрізнялася від контрольних ділянок [14]. Деякі дослідники рекомендують застосовувати спеціальну сітку, виготовлену з металу чи полімерного матеріалу, що дозволяє покращити механічні параметри трансплантата й попереджає міграцію дрібних кісткових фрагментів у процесі встановлення [15]. Також рекомендують використання металевих імплантатів із спеціальним покриттям, придатним для вrostання кісткової тканини, що обумовлює вторинну їхню фіксацію.

Спроби створити класифікацію дефектів кісток у разі ендопротезування колінного суглоба зроблено як окремими вченими, так і відомими науково-дослідними медичними закладами неодноразово: Дорр (Dorr), Ренд (Rand), Хафф і Сулько, Баргар і Грос, Клатворзей і Грос, Морган-Джонс, Інститутом ортопедичних досліджень Андерсона (Anderson Orthopaedic Research Institute — AORI), Массачусетською клінікою (Massachusetts General Hospital — MGH), університетом Пенсильванії (University of Pennsylvania) [16–21]. З одного боку, це вказує на актуальність проблеми, з іншого, — на складність діагностики та неможливість в одній класифікації відобразити всі особливості дефектів кісток ділянки колінного суглоба.

Класифікація L. D. Dorr найкраще підходить для визначення первинних дефектів. Проте в ній подано лише дефекти великогомілкової кістки, розподілені на центральні та периферичні, без урахування їхньої величини. Проблематичним є також опис складних дефектів, через що практичне застосування цієї класифікації обмежене [22].

Класифікації J. A. Rand і MGH оцінюють дефекти лише стегнової кістки. За J. A. Rand їх розділяють на 4 групи: мінімальні (глибиною до 5 мм, поширенням до 50 % суглобової поверхні); помірні (глибиною 5–10 мм, залучено від 50 до 70 % суглобової поверхні); значні (глибиною

понад 10 мм, поширенням на 70–90 %) та масивні (понад 90 % із можливим ушкодженням коркового шару). Ця класифікація не дає змогу виконати передопераційне планування з урахуванням кісткових дефектів, оскільки оцінювання їхнього стану та розмірів проводять інтраопераційно [23].

Класифікація MGH розподіляє дефекти стегнової кістки на незначні та значні, при цьому орієнтиром є площина, яка з'єднує надвиростки стегнової кістки, об'єм дефекту (до 1 см<sup>3</sup> і понад 1 см<sup>3</sup>) та ступінь ураження коркового шару в ділянці дефекту. Отже, вибір операційної техніки, виходячи з цієї класифікації, також є проблематичним, зокрема в разі незначних дефектів [17].

Схожою є класифікація E. A. Elia та P. A. Lotke [24], запропонована в 1991 році, яка дозволяє оцінити розмір дефекту та площу залученої до нього суглобової поверхні не лише стегнової, а й великогомілкової кістки, проте загалом має ті самі недоліки.

За класифікацією Bargar&Gross (1991) розрізняють 4 типи дефектів обох суглобових поверхонь: сегментарного типу з дефектом спонгіозної і коркової тканин; кавернозного типу з дефектом, оточеним з усіх боків кістковою тканиною у вигляді кісти та дефектом унаслідок перелому з порушення цілісності кісткової тканини зі значним поширенням. За нею визначають три ступеня глибини дефектів кісток по відношенню до анатомічних орієнтирів. На стегнової кістці — це надвиросткова лінія та дві додаткові паралельні лінії, проведені на 1 і 2 см у проксимальному напрямку. На великогомілковій кістці орієнтиром є горизонтальна лінія, проведена через верхівку її горбистості та верхівку головки малоогомілкової кістки, а також лінія, що йде паралельно цим двом, але на 1 см нижче. Перевагою цієї класифікації є можливість проведення не лише інтраопераційного, а й передопераційного оцінювання дефекту кісток, що дозволяє краще спланувати операцію й обрати відповідну методику заміщення дефекту. Із недоліків слід зазначити певну суб'єктивність оцінки та труднощі, які виникають через погану якість рентгенограм. Класифікація за такими критеріями потребує багато часу та не завжди чітко дозволяє визначити ступінь і розмір дефекту, оскільки надвиростки стегнової кістки знаходяться на значній відстані від суглобової поверхні [25].

Особливістю класифікації J. N. Insall, запропонованої в 1993 році, є візуальний опис різноманітних видів дефектів кісток із визначенням їхніх розмірів, які для обмежених корковим шаром

порожнин визначають як малі (до 5 мм), так і великі (понад 5 мм), а для необмежених — малі (до 5 мм), середні (5–10 мм), значні (понад 10 мм). Крім того, аналізують симетричність дефекту та його форму (у вигляді «різка морозива», циліндричну клиновидну), його локалізацію (латеральний, медіальний). Хоча наведена класифікація дає змогу в процесі передопераційного планування обрати певну методику для кожного з видів дефектів кісток, не завжди цей вибір виявляється оптимальним під час ендопротезування. Крім того, деякі дефекти, зокрема, конусоподібні у вигляді «різка морозива» та циліндричні клиновидні латеральні чи медіальні, які утворилися в результаті застосування моделей ендопротезів застарілих конструкцій, мають переважно історичне значення і на сьогодні трапляються рідко [26, 27].

Класифікація Т. J. Slooff і М. С. de Waal Malefijt була запропонована в 1995 році, використовується лише інтраопераційно для оцінювання дефектів стегнової кістки та кісток гомілки, які можна заповнити ущільненими кістковими трансплантатами, та поділяє їх на малі (до 4 см<sup>3</sup>), середні (4–10 см<sup>3</sup>) та великі (понад 10 см<sup>3</sup>) [28].

Запропонована у 2003 році класифікація університету Пенсильванії дає змогу досить точно визначити розміри дефектів обох суглобових кінців за допомогою спеціально розроблених шаблонних сіток, які прикладають до рентгенограм колінного суглоба, зроблених у прямій і боковій проєкціях. Ця методика дозволяє проводити передопераційне планування та порівнювати результати лікування, але її складність перешкоджає широкому застосуванню поза межами клініки [29].

За класифікацією М. Clatworthy та А. Gross інтраопераційно оцінюють тип дефектів стегнової та великогомілкової кісток і визначають методику оптимального лікування. Дефекти розподіляють на 4 типи: 1-й — обмежені корковим шаром, які не поширюються на нього і не потребують кісткової пластики. Вони можуть бути заповнені кістковим цементом з установами конструкцій для первинного ендопротезування. За умов дефектів 2-го типу, які поширюються на метафізарну ділянку, але оточені корковим шаром, рекомендують виконувати кісткову пластику, заповнювати порожнини імплантатом і кістковим цементом. Дефекти 3 і 4-го типів не мають збереженого коркового шару й обумовлюють проведення заміщення масивними кістковими трансплантатами чи імплантатами за сегментарним чи круговим типом [30].

Класифікація Т. W. Huff і Т. P. Sculco, запропонована у 2007 році, аналогічна до розробленої AORI (Anderson Orthopaedic Research Institute) і дозволяє проводити передопераційне й інтраопераційне оцінювання дефектів кісток для вибору подальшої тактики лікування. Визначають дефекти за типом кістки (у субхондральному шарі під час первинного ендопротезування чи на межі контакту між компонентами ендопротеза та кісткою в разі ревізійного), епіфізарні за типом порожнини (масивні, інтракортикальні та метафізарні) й сегментарні з поширенням на ділянку прикріплення обхідних зв'язок [18].

Серед багатьох найбільшої популярності набула класифікація AORI, однією з переваг якої є можливість проведення передопераційного планування. Крім того, вона простіша та зручніша у використанні, ніж, наприклад, розроблена в університеті Філадельфії. Іншою перевагою класифікації AORI є окремий опис дефектів стегнової та великогомілкової кісток суглобових поверхонь — згідно з нею визначають три основні типи, які впливають на вибір операційної тактики [31].

Перший тип — невеликі за розмірами дефекти суглобових поверхонь із неушкодженою метафізарною ділянкою, які не впливають на стабільність компонентів ендопротеза. Це, зазвичай, дефекти глибиною до 5 мм за типом кіст. При цьому кількість кісткової тканини в ділянці суглобових поверхонь здебільшого достатня для стабільної фіксації компонентів первинного ендопротеза. Такі дефекти можуть бути успішно заміщені як ауто-, так і алотрансплантатами. Хоча частіше застосовують подрібнені спонгіозні кісткові трансплантати, можливе також їхнє заповнення кістковим цементом.

Дефекти другого типу за AORI більші за розмірами та поширюються не лише на епіфізарну, а й на метафізарну ділянки. При цьому розрізняють підтип ПА — дефект половини суглобової поверхні стегнової чи великогомілкової кісток, підтип ПВ — усієї. Конгруентність суглобових поверхонь може бути відновлена шляхом заповнення ураженої ділянки кістковим трансплантатом, цементом чи різноманітними імплантатами з синтетичних матеріалів, зокрема, пористого титану, танталу, полімерних сполук.

Для заміщення дефектів суглобових поверхонь стегнової та великогомілкової кісток підтип ПА, ПВ розроблено імплантати різної форми та розмірів, що дає змогу під час операції зберегти більше кісткової тканини в процесі підготування ділянки встановлення.

Металеві імплантати виготовляють у вигляді блоків різної товщини прямокутної чи клиноподібної форми та фіксують гвинтами або за допомогою кісткового цементу. Їх застосовують у випадках наявності дефектів кісток від 4 до 20 мм. За умов сегментарних дефектів, заміщених імплантатами, добрі результати простежені до 6 років. Використання металевих імплантатів можливе й за наявності необмежених дефектів глибиною до 4 мм [32].

Застосування асиметричних імплантатів уможливає краще відновлення рівня суглобових поверхонь і балансу зв'язкового апарата, що, у свою чергу, сприяє збільшенню обсягу рухів у суглобі після операції [33]. Залежно від форми розрізняють імплантати ступінчасті та прямокутні (стабільніші, але обумовлюють часткове видалення кісткової тканини для підготування ділянки їхнього встановлення), а також клиноподібні — менш стабільні, але дозволяють зберегти кісткову тканину. У результаті біомеханічних досліджень доведено взаємозв'язок форми імплантатів і стабільності компонентів ендопротеза [34], але система «кістка – імплантат – компоненти ендопротеза» досить складна та важкопрогнозована і, на нашу думку, потребує ретельного вивчення.

Нерідко імплантати закріплюють за допомогою цементу, але міцність такої фіксації з часом може погіршуватися. Повідомлено про її зменшення на 25 % упродовж 6–7 років, поодинокі випадки міграції, але більш віддалених результатів щодо міцності фіксації імплантатів нами не виявлено, тому цей аспект є перспективним для подальшого дослідження [35].

Великі метафізарні дефекти третього типу за AORI поширюються на весь виросток або плато великогомілкової кістки, виросток стегнової кістки. Для забезпечення стабільності компонентів ендопротеза колінного суглоба слід застосовувати допоміжні стегові та/або великогомілкові системи (подовжувальні ніжки ендопротеза), які розвантажують зони контакту ендопротеза з кісткою, у комбінації з кістковою пластикою та використанням металевих імплантатів, оскільки такі дефекти кісткової тканини найчастіше охоплюють ділянку прикріплення обхідних зв'язок чи власної зв'язки наколінка. Іншим варіантом лікування є застосування індивідуальних напівзв'язаних і зв'язаних конструкцій ендопротезів колінного суглоба.

Немає одностайної думки щодо хірургічного лікування за наявності значніших за розмірами дефектів кісток підтипів ІА, ІВ, ІІ за AORI [36].

Невеликі дефекти великогомілкової кістки підтипу ІА пропонують заповнювати кістковим цементом з армуванням металевими гвинтами, але більші дефекти обумовлюють кардинально новий підхід до лікування. Вони є найтипівішими для ревізійного тотального ендопротезування колінного суглоба. Віддалені ітоги лікування в цих випадках досліджені недостатньо, але ймовірно, що досягненню позитивного результату сприяє не лише механічна стабільність, а й біологічна фіксація компонентів ендопротеза. Біомеханічні дослідження доводять, що для кожної з методик заміщення дефектів кісток важливу роль відіграють механічні сили, які діють у ділянці суглоба, а великогомілковий компонент ендопротеза є найчутливішим до них.

Обмежені порожнини успішно можуть бути заповненими як кістковим цементом, так і неструктурованими кістковими трансплантатами. За наявності необмежених дефектів кісток значний вплив на стабільність компонентів ендопротеза має їхній інтрамедулярний компонент — стем — його розміри, довжина та форма [37].

Однією з методик заміщення є застосування сіток, заповнених гомогенізованими кістковими трансплантатами, виготовленими із заморожених головок стегових кісток, видалених під час попередніх операцій ендопротезування кульшового суглоба. Такі сітки виготовляють із металу та полімерних матеріалів із можливістю додаткової фіксації гвинтами та подальшим циклічним навантаженням. Металеві сітки забезпечують кращу стабільність кісткових трансплантатів, а полімерні — остеоінтеграцію. Їхня первинна механічна стабільність зазвичай поступається металевим імплантатам, але за даними попередніх розрахунків можна сподіватися на стабільність до 92 % ендопротезів упродовж перших десяти років [38]. Для пацієнтів молодого віку перевагу слід віддавати застосуванню кісткових трансплантатів і біологічній фіксації, ніж первинній механічній стабільності [39].

Іншим перспективним методом лікування великих дефектів типів ІІВ та ІІІ за AORI є застосування пористих конусоподібних метафізарних імплантатів і втулок, виготовлених із металу, індивідуально розроблених ендопротезів та онкологічних ендопротезів. У випадку дефектів стегової кістки типу ІІІ вказані компоненти успішно застосовують у поєднанні з алотрансплантатами з головок стегових кісток [40, 41]. Повна перебування останніх у разі використання разом з ендопротезом із довгою інтрамедулярною ніжкою

відбувається в середньому впродовж 6,6 міс., але в окремих випадках триває до 16 міс. У дослідній серії з 30 ревізійних ендопротезувань упродовж 76 міс. спостережень не зареєстровано жодного випадку міграції чи інфекційних ускладнень [42]. За інформацією С. J. Fedorka та співавторів [43], у разі застосування метафізарних втулок із пористим покриттям для фіксації компонентів ендопротеза під час проведення ревізій у більшості хворих відмічено рентгенологічні ознаки доброї остеоінтеграції. Середні терміни спостереження становили 5 років, частота повторних операцій — 18,9 %, із них у 6,8 % випадків причиною було асептичне розхитування [43].

Перспективним напрямом також вважаємо розвиток віртуального прототипування для складних випадків ендопротезування, використання методик 3D-друку та адитивних технологій для виготовлення індивідуальних направляючих та резекційних блоків [44, 45].

## Висновки

Застосування сучасних матеріалів і способів заміщення дефектів кісток у разі тотального ендопротезування колінного суглоба дає змогу значно покращити наслідки лікування, але передбачає ретельне передопераційне планування та підбір відповідної методики згідно з класифікацією дефектів. На підставі порівняльної характеристики синтетичних матеріалів і кісткових трансплантатів визначено певні переваги та недоліки кожного із них. Залежно від типу дефекту для хірургічного лікування можна застосувати структуровані та гомогенізовані кісткові трансплантати, кістковий цемент самостійно або в поєднанні з гвинтами та сітками, металеві чи полімерні імплантати різноманітної форми. Для більших за розмірами дефектів слід використовувати подовжувальні ніжки чи індивідуально виготовлені онкологічні модульні ендопротези.

**Конфлікт інтересів.** Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

## Список літератури

1. Have the annual trends of total knee arthroplasty in rheumatoid arthritis patients changed? / M. A. Harb, M. Solow, J. M. Newman [et al.] // *The Journal of Knee Surgery*. — 2018. — Vol. 31 (9). — P. 841–845. — DOI: 10.1055/s-0037-1615822.
2. Springer B. D. The American Joint Replacement Registry and Arthroplasty Today / B. D. Springer, C. D. Etkin // *Arthroplasty Today*. — 2016. — Vol. 2 (2). — Article ID: 43. — DOI:10.1016/j.artd.2016.03.004.
3. Корж М. О. Сучасний стан проблеми ендопротезування суглобів в Україні / М. О. Корж, В. А. Філіпенко, В. О. Танькут // *Біль, суглоби, хребет*. — 2012. — № 1 (5). — С. 48–50.
4. Causes and rates of revision total knee arthroplasty: Local results from Isfahan, Iran / M. Motifard, M. Pesteh, M. R. Etemadifar, S. Shirazinejad // *Advance Biomedical Research*. — 2015. — Vol. 29 (4). — Article ID: 111. — DOI: 10.4103/2277-9175.157829.
5. Revision rates after knee replacement. Cumulative results from worldwide clinical studies versus joint registers / C. Pabinger, A. Berghold, N. Boehler, G. Labek // *Osteoarthritis and Cartilage*. — 2013. — Vol. 21 (2). — P. 263–268. — DOI: 10.1016/j.joca.2012.11.014.
6. Analysis of total knee arthroplasty revision causes / A. Postler, C. Lutzner, F. Beyer [et al.] // *BMC Musculoskeletal Disorders*. — 2018. — Vol. 19 (1). — Article ID: 55. — DOI: 10.1186/s12891-018-1977-y.
7. Backstein D. Management of bone loss: structural grafts in revision total knee arthroplasty / D. Backstein, O. Safir, A. Gross // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. — 2006. — Vol. 446. — P. 104–112. — doi:10.1016/j.artd.2016.03.004.
8. Repair of defects and containment in revision total knee replacement / A. D. Toms, R. I. Barker, D. McClelland [et al.] // *Journal of Bone and Joint Surgery. Br.* — 2009. — Vol. 91-B (2). — P. 271–277. — DOI: 10.1302/0301-620X.91B2.21415.
9. The treatment of bone defects in primary arthroplasty of the knee / D. Tigani, P. Trentani, F. Trentani [et al.] // *La Chirurgia degli Organi di Movimento*. — 2004. — Vol. 89 (1). — P. 29–33.
10. Insall J. N. Surgical techniques and instrumentation in total knee arthroplasty / J. N. Insall, M. E. Easley // *Surgery of the knee* / J. N. Insall, W. N. Scott (Eds.) — New York : Churchill-Livingstone, 2001. — 586 p.
11. Laskin R. S. Total knee arthroplasty in the presence of bony defects of the tibia and marked knee instability / R. S. Laskin // *Clinical Orthopaedics Relative Research*. — 1989. — Vol. 248. — P. 66–70. — DOI:10.1097/00003086-198911000-00012.
12. Total knee arthroplasty for post-traumatic proximal tibial bone defect: three cases report / D. Tigani, D. Dallari, C. Coppola [et al.] // *Open Orthopaedics Journal*. — 2011. — Vol. 14 (5). — P. 143–150. — DOI: 10.2174/1874325001105010143.
13. Impaction bone-grafting in revision joint replacement surgery / A. D. Toms, R. L. Barker, R. S. Jones, J. H. Kuiper // *Journal of Bone and Joint Surg. Am.* — 2004. — Vol. 86 (9). — P. 2050–2060. — DOI: 10.2106/00004623-200049000-00028.
14. Morsellised bone grafting restores uncontained femoral bone defects in knee arthroplasty. An in vivo study in horses / C. J. M. Van Loon, M. C. de Waal Malefijt, P. Buma [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery. Br.* — 2000. — Vol. 82-B (3). — P. 436–444. — DOI: 10.1302/0301-620X.82B3.0820436.
15. The difficult primary total knee arthroplasty. A review / A. Baldini, L. Castellani, F. Traverso [et al.] // *Bone and Joint Journal*. — 2015. — Vol. 97-B (Suppl A). — P. 30–39. — DOI: 10.1302/0301-620X.97B10.36920.
16. Bone defects in revision total knee arthroplasty: classification and management [in German] / H. Reichel, R. Hube, A. Birke, W. Hein // *Zentralbl. Chir.* — 2002. — Vol. 127. — P. 880–885.
17. Hoeffel D. P. Revision total knee arthroplasty: current rationale and techniques for femoral component revision / D. P. Hoeffel, H. E. Rubash // *Clinical Orthopaedics Relative Research*. — 2000. — Vol. 380. — P. 116–132. — DOI:10.1097/00003086-200011000-00016.
18. Huff T. W. Management of bone loss in revision total knee arthroplasty / T. W. Huff, T. P. Sculco // *The Journal of Arthroplasty*. — 2007. — Vol. 22 (7 Suppl 3). — P. S32–S37. — DOI: 10.1016/j.arth.2007.05.022.
19. Radiographic prediction of intraoperative bone loss in knee arthroplasty revision / K. J. Mullhall, H. M. Ghomrami, G. A. Engh [et al.] // *Clinical Orthopaedics Relative Research*. — 2006. — Vol. 446. — P. 51–58. — DOI: 10.1097/01.blo.0000214438.57151.a5.
20. Engh G. A. Bone loss with revision total knee arthroplasty defect classification and alternatives for reconstruction / G. A. Engh,

- D. J. Ammeen // Instructional Course Lectures. — 1999. — Vol. 48. — P. 167–175.
21. Zonal fixation in revision total knee arthroplasty / R. Morgan-Jones, S. I. S. Oussedik, H. Graichen, E. S. Haddad // *The Bone & Joint Journal*. — 2015. — Vol. 97-B. — P. 147–149. — DOI: 10.1302/0301-620x.97b2.34144.
  22. Dorr L. D. Bone grafts for bone loss with total knee replacement / L. D. Dorr // *Orthopedic Clinics of North America*. — 1989. — Vol. 20 (2). — P. 179–187.
  23. Rand J. A. Bone deficiency in total knee arthroplasty. Use of metal wedge augmentation / J. A. Rand // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. — 1991. — Vol. 271. — P. 63–71. — DOI: 10.1097/00003086-199110000-00009.
  24. Elia E. A. Results of revision total knee arthroplasty associated with significant bone loss / E. A. Elia, P. A. Lotke // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. — 1991. — Vol. 271. — P. 114–121. — DOI: 10.1097/00003086-199110000-00016.
  25. Bargar W. L. A classification of bone defects in revision total knee arthroplasty / W. L. Bargar // *Abstract Book of Knee Society Interim Meeting*. — Philadelphia, 1992.
  26. Insall J. N. Revision of aseptic failed total knee arthroplasty. *Surgery of the knee* / J. N. Insall. — 2<sup>nd</sup> ed. — New York : Churchill-Livingstone, 1993. — P. 935–957.
  27. Revision total knee arthroplasty with use of modular components with stems inserted without cement / S. B. Haas, J. M. Insall, W. Montgomery, R. E. Windsor // *The Journal of Bone and Joint Surgery. Am.* — 1995. — Vol. 77 (11). — P. 1700–1707. — DOI: 10.2106/00004623-199511000-00009.
  28. De Waal Malefijt M. C. Bone grafting in cemented knee replacement. 45 primary and secondary cases followed for 2–5 years / M. C. De Waal Malefijt, A. van Kampen, T. J. Slooff // *Acta Orthopaedica Scandinavica*. — 1995. — Vol. 66 (4). — P. 325–328. — DOI: 10.3109/17453679508995554.
  29. Lotke P. A. Impaction grafting for bone defects in revision total knee arthroplasty / P. A. Lotke, G. F. Carolan, N. Puri // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. — 2006. — Vol. 446. — P. 99–103. — DOI: 10.1097/01.blo.0000214414.06464.00.
  30. Clatworthy M. Management of bony defects in revision total knee replacement. *The adult knee* / M. Clatworthy, A. Gross. — Philadelphia : Lippincott, Williams and Wilkins, 2003. — P. 1455–1463.
  31. Bone defect classifications in revision total knee arthroplasty. Review article / Y. Y. Qiu, C. H. Yan, K. Y. Chiu, F. Y. Ng // *Journal of Orthopaedic Surgery*. — 2011. — Vol. 19 (2). — P. 238–243. — DOI: 10.1177/230949901101900223.
  32. Lee J. K. Management of tibial bone defects with metal augmentation in primary total knee replacement / J. K. Lee, C. H. Choi // *The Journal of Bone and Joint Surgery. Br.* — 2011. — Vol. 93-B. — P. 1493–1496. — DOI: 10.1302/0301-620x.93b11.27136.
  33. Joint line restoration after revision total knee arthroplasty / P. E. Partington, J. Sawhney, C. H. Parabeck [et al.] // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. — 1999. — Vol. 367. — P. 165–171. — DOI: 10.1097/00003086-199910000-00020.
  34. Chen F. Management of tibial defects in total knee arthroplasty: a biomechanical study / F. Chen, K. A. Krackew // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. — 1994. — Vol. 305. — P. 249–257. — DOI: 10.1097/00003086-199408000-00031.
  35. Rand J. A. Augmentation of a total knee arthroplasty with a modular metal wedge. A case report / J. A. Rand // *The Journal of Bone and Joint Surgery. Am.* — 1995. — Vol. 77 (2). — P. 266–268. — DOI: 10.2106/00004623-199502000-00014.
  36. The management of bone loss in revision total knee arthroplasty / P. K. Sculco, M. P. Abdel, A. D. Hanssen, D. G. Lewallen // *The Bone and Joint Journal*. — 2016. — Vol. 98-B (1–Suppl A). — P. 120–124. — DOI: 10.1097/01.blo.0000229360.04620.9.
  37. Brooks P. J. Tibial component fixation in deficient tibial bone stock / P. J. Brooks, P. S. Walker, R. D. Scott // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. — 1984. — Vol. 184. — P. 302–308. — DOI: 10.1097/00003086-198404000-00049.
  38. Fate of augments to treat type-2 bone defects in revision knee arthroplasty / J. V. Patel, J. I. Masonis, J. Guerin [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery. Br.* — 2004. — Vol. 86-B. — P. 195–199. — DOI: 10.1302/0301-620x.86b2.13564.
  39. Repair of defects and containment in revision total knee replacement. A comparative biomechanical analysis / A. D. Toms, R. L. Barker, D. McClelland [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery. Br.* — 2009. — Vol. 91-B. — P. 221–227. — DOI: 10.1302/0301-620x.91b2.21415.
  40. Augmenting the osseointegration of endoprostheses using laser-sintered porous collars / A. Mumith, M. Coathup, M. Chimuten-gwede-Gordon [et al.] // *The Bone and Joint Journal*. — 2017. — Vol. 99-B. — P. 276–282. — DOI: 10.1302/0301-620x.99b2.bjj-2016-0584.r1.
  41. Wittaker J. K. The management of bone loss in revision total knee replacement / J. K. Wittaker, R. Dharmarajan, A. D. Toms // *The Journal of Bone and Joint Surgery. Br.* — 2008. — Vol. 90-B. — P. 981–987. — DOI: 10.1302/0301-620x.90b8.19948.
  42. Reconstruction using femoral head allograft in revision total knee replacement. An experience in Asian patients / J. W. Wang, C. H. Hsu, C. C. Huang [et al.] // *The Bone and Joint Journal*. — 2013. — Vol. 95-B. — P. 643–648. — DOI: 10.1302/0301-620x.95b5.29915.
  43. Revision total knee arthroplasty with porous-coated metaphyseal sleeves provides radiographic ingrowth and stable fixation / C. J. Fedorka, A. F. Chen, M. R. Pagnotto [et al.] // *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. — 2018. — Vol. 26 (5). — P. 1500–1505. — DOI: 10.1007/s00167-017-4493-y.
  44. Total knee arthroplasty using virtual prototyping and additive manufacturing / R. O. Gorbatov, E. E. Malyshev, A. D. Romanov, N. N. Karyakin // *Sovremennye tehnologii v medicine*. — 2018. — Vol. 10 (3). — P. 146–154. — DOI: 10.17691/stm2018.10.3.18.
  45. Эндопротезирование коленного сустава с применением индивидуальных направителей, созданных с помощью технологий 3D-печати / Н. Н. Карякин, Е. Е. Мальшев, Р. О. Горбатов, Д. К. Ротич // *Травматология и ортопедия России*. — 2017. — № 23 (3). — С. 110–118. — DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-110-118.

Стаття надійшла до редакції 15.07.2019

## BONE DEFECTS SUBSTITUTION IN TOTAL KNEE REPLACEMENT (LITERATURE REVIEW)

O. V. Tankut<sup>1</sup>, O. G. Dudko<sup>2</sup><sup>1</sup> Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv<sup>2</sup> HSEE of Ukraine «Bukovinian State Medical University», Chernivtsi

✉ Oleksii Tankut, PhD in Traumatology and Orthopaedics: tankutmed@gmail.com

✉ Oleksii Dudko, MD, PhD in Traumatology and Orthopaedics: Dudko.oleksii@bsmu.edu.ua