

OPEN ACCESS

DOI: 10.25040/ntsh2025.01.08

Адреса для листування: КНП «Міська клінічна лікарня № 16» ДМР, просп. Б. Хмельницького, 19, Дніпро, 49000, Україна
E-mail: vasylmakarov2010@gmail.com

Надійшла до редакції: 25.03.2025

Прийнята до друку: 16.05.2025

Опублікована: 20.06.2025

ORCID ID

Василь Макаров:

<https://orcid.org/0000-0003-0936-7039>

Конфлікт інтересів: автор не має прямих (зайнятість, акціонерне товариство, гранти, патенти) або непрямих конфліктів інтересів (гонорари, консультації спонсорських організацій, володіння взаємними фондами, платні свідчення експертів). Цей рукопис не призначений для просування будь-якої іншої інформації, окрім повідомлення про результати дослідження.

Особистий внесок автора:

Концепція, збирання й аналізування даних, написання статті: Василь Макаров

Дозвіл комісії з біоетики на проведення дослідження:

комісія з біоетики ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» надала позитивний висновок щодо дотримання етичних та морально-правових норм при проведенні наукового дослідження із залученням людини (протокол № 191 від 22.04.2019, протокол № 229 від 20.02.2023)

Фінансування: автор не отримав жодної фінансової підтримки для свого дослідження.



© Василь Макаров, 2025

КОРОТКОСТРОКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ РЕВЕРСИВНОГО ЕНДОПРОТЕЗУВАННЯ ПЛЕЧОВОГО СУГЛОБА

Василь Макаров^{1,2}

¹ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України», Харків, Україна
²КНП «Міська клінічна лікарня № 16» ДМР, Дніпро, Україна

Дослідження останніх років засвідчують серйозність проблеми збільшення кількості переломів проксимального відділу плечової кістки, а їх тяжкість зростає з віком через нестримне погіршення мінеральної щільності кісткової тканини. Рекомендації Європейського товариства травматологічної та невідкладної хірургії відзначають тенденцію до зворотного ендопротезування плечового суглоба у літніх пацієнтів.

Мета. Аналіз короткострокових функціональних результатів впровадження оригінального тотального реверсивного модульного ендопротеза плечового суглоба у хірургічному лікуванні пацієнтів з переломами проксимального відділу плечової кістки або їх наслідками на тлі зниженої мінеральної щільності кісткової тканини.

Методи дослідження. Проспективне дослідження проведене у групі з 14 пацієнтів, які відповідали таким умовам залучення: вік ≥ 50 років; перелом проксимального відділу плечової кістки типу 11-B або 11-C за класифікацією АО/ОТА; прояв зниження мінеральної щільності кісткової тканини зі значенням кіркового

індексу ≤ 0.4 . Хірургічне втручання проведене з використанням оригінального реверсивного тотального модульного ендопротеза плечового суглоба на основі адитивних технологій. Функцію плечового суглоба оцінювали у балах за шкалою Constant-Murley Shoulder Score через 3, 6 і 12 місяців після втручання. Відмінності між функціональними результатами оцінювали за критерієм Тьюкі на рівні значущості $p < 0.05$ на основі одностороннього дисперсійного аналізу.

Результати. Середній вік пацієнтів становив (65.0 ± 7.8) років. Всі мали проявлене зниження мінеральної щільності кісткової тканини, більш як половина (8 осіб, 57.1%) мали кірковий індекс у діапазоні $(0.30 - 0.38)$. Час від травми до операції мав середнє значення (82.3 ± 70.5) діб. Розроблений модульний ендопротез був застосований у пацієнтів, які мали очевидні дефекти проксимального відділу плечової кістки на тлі зниження мінеральної щільності кісткової тканини, а також після невдалої відкритої репозиції та внутрішньої фіксації.

Висновки. Статистично значуще ($p < 0.05$) покращення функціональних результатів пацієнтів досліджуваної групи через 12 місяців після операції підтвердило доцільність застосування реверсивного модульного ендопротеза плечового суглоба з пористого титану, виготовленого з використанням адитивних 3D-технологій, у випадках переломів типу 11-B та 11-C при недостатній мінеральній щільності кісткової тканини у пацієнтів старших 50 років з дефектами проксимального відділу плечової кістки. Частка ускладнень у пацієнтів групи на рівні 28.6% не виходить за межі середніх значень, зафіксованих в аналогічних дослідженнях інших авторів.

Ключові слова: ендопротезування, протези та імпланти, плече, літній вік, щільність кісткової тканини, результат лікування.

SHORT-TERM OUTCOMES OF REVERSE SHOULDER ARTHROPLASTY

Vasyl Makarov^{1, 2}

¹ *Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

² *Municipal non-profit enterprise City Clinical Hospital No. 16 of Dnipro City Council. Dnipro, Ukraine*

Introduction. Recent studies highlight the growing concern regarding the increasing number of proximal humerus fractures, the severity of which escalates with age due to the progressive decline in bone mineral density. Recommendations from the European Society for Trauma and Emergency Surgery emphasize a growing trend toward reverse shoulder arthroplasty in elderly patients.

Objective. To analyze the short-term functional outcomes of implementing an original modular reverse total shoulder prosthesis in the surgical treatment of patients with proximal humerus fractures or their sequelae in the context of reduced bone mineral density.

Methods. A prospective study was conducted on a group of 14 patients who met the following inclusion criteria: age ≥ 50 years; proximal humerus fracture type 11-B or 11-C according to AO/OTA classification; significantly reduced bone mineral density with a cortical index ≤ 0.4 .

Surgical intervention was performed using an original modular reverse total shoulder prosthesis based on additive manufacturing technologies. Shoulder joint function was evaluated using the Constant-Murley Shoulder Score at 3, 6, and 12 months postoperatively. Differences in functional outcomes were assessed using Tukey's test at a significance level of $p < 0.05$ based on a one-way analysis of variance.

Results. The mean age of patients was 65.0 ± 7.8 . All patients had significantly reduced bone mineral density, and more than half (8 individuals, 57.1%) had a cortical index in the range of 0.30–0.38. The mean time from injury to surgery was 82.3 ± 70.5 days. The developed modular prosthesis was used in patients with substantial proximal humerus defects on the background of reduced bone mineral density, as well as following failed open reduction and internal fixation.

Conclusions. A statistically significant ($p < 0.05$) improvement in the functional outcomes of patients in the study group at 12 months postoperatively confirmed the feasibility of using a porous titanium modular reverse shoulder prosthesis manufactured with additive 3D technologies in type 11-B and 11-C fractures with reduced bone mineral density in patients over 50 with proximal humerus defects. The complication rate of 28.6% in the study group did not exceed the average values reported in comparable studies by other authors.

Keywords: arthroplasty, prostheses and implants, aged, bone density, shoulder, treatment outcome.

OPEN ACCESS

DOI: 10.25040/ntsh2025.01.08

For correspondence: City Clinical Hospital No. 16, Dnipro, Ukraine

E-mail: vasylmakarov2010@gmail.com

Received: 25 Mar, 2025

Accepted: 16 May, 2025

Published: 20 Jun, 2025

ORCID ID

Vasyl Makarov:

<https://orcid.org/0000-0003-0936-7039>

Conflict of Interest The author declares no direct (employment, stock ownership, grants, patents) or indirect conflicts of interest (fees, consultancy for sponsoring organizations, mutual fund holdings, paid expert testimonies). This manuscript is not intended to promote any information other than the dissemination of research results.

Author's Contribution Concept, data collection and analysis, manuscript Writing: Vasyl Makarov

Ethical approval: The Bioethics Committee of the Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine provided a positive conclusion on compliance with ethical and moral-legal norms in conducting scientific research involving human subjects (Protocol No. 191, April 22, 2019; Protocol No. 229, February 20, 2023).

Funding The author received no financial support for this research.



© Vasyl Makarov, 2025

Вступ

Епідеміологічні дослідження та огляди останніх років засвідчують серйозність проблеми збільшення кількості переломів проксимального відділу плечової кістки (ПВПК), які за поширеністю вже посідають друге місце серед переломів верхньої кінцівки та становлять 5–7% від усіх травм опорно-рухової системи, причому цей показник зростає разом зі збільшенням частки населення літнього віку [1–3].

Визначено, що частота переломів ПВПК є вищою серед осіб старших 50 років, особливо серед жінок [4–5]. У цій популяції значна частка переломів спричинена низькоенергетичними падіннями, переважно побутовими, з висоти свого зросту, причому більшість переломів – складні та зі зміщеннями, а їхня тяжкість зростає з віком [2]. Очевидна тенденція до збільшення ризику та тяжкості переломів зі збільшенням віку пояснюється більшою ймовірністю падінь і невідворотним погіршенням мінеральної щільності кісткової тканини внаслідок старіння [6–7].

Окремі автори підкреслюють, що позитивні результати у випадках найбільш поширених у старшій віковій групі три- та чотирифрагментарних переломів ПВПК важко отримати при консервативному лікуванні та можливо досягти лише за допомогою хірургічного втручання [8–9]. При цьому наявні зауваження, що через складність переломів ПВПК хірург повинен мати вичерпні знання щодо характеристик перелому, доступних варіантів лікування та можливих ускладнень, які можуть виникнути, оскільки саме це сприятиме безпеці пацієнтів і отриманню задовільних клінічних результатів [1].

Аналіз сучасних тенденцій у хірургічному лікуванні переломів ПВПК свідчить про збільшення використання реверсивного тотального ендопротезування плечового суглоба (RTSA) (з 4% у 2007 році до 34% у 2018 році) а негеміартропластики і відкритої репозиції та внутрішньої фіксації (ORIF), особливо у пацієнтів старших 65 років [3; 10]. Очевидно, що таке значне збільшення використання RTSA є свідченням прогресу у хірургічних техніках [9; 11–12].

Статистичні дані доводять, що RTSA стало сприятливим вибором для лікування трьох-

та чотирьохфрагментарних переломів зі зміщенням у пацієнтів літнього віку, оскільки забезпечує кращі клінічні результати і меншу частоту ревізійних операцій порівняно з іншими методами, що їх застосовують у схожих умовах [8; 13–14]. RTSA вважають своєрідним золотим стандартом хірургічного лікування трьох- та чотирьохфрагментарних переломів зі зміщенням у людей літнього віку [15].

Рекомендації Європейського товариства травматологічної та невідкладної хірургії (ESTES) підкреслюють існування очевидної тенденції до зворотного ендопротезування плечового суглоба, особливо у пацієнтів старших 75 років, при цьому RTSA, зокрема і вторинне RTSA після іншого хірургічного лікування, забезпечує хороший клінічний результат із невеликою кількістю ревізій [16]. Зворотне ендопротезування плечового суглоба додатково демонструє довгострокові переваги, ширші показання при травматичних ушкодженнях та високий рівень задоволеності пацієнтів [17].

Виходячи з цієї інформації, вибір RTSA порівняно з іншими хірургічними варіантами вважають сучасним, розумним і безпечним варіантом лікування переломів ПВПК, особливо у тих, хто має більш складні переломи, та/або у літніх пацієнтів [3].

Сучасна демографічна ситуація в Україні означає збільшення частки населення старших 60 років, тому дослідження та впровадження сучасних методів лікування переломів ПВПК, які дедалі частіше стають причиною функціональних обмежень і зниження якості життя літніх людей, є важливими та своєчасними.

Мета цієї роботи – аналіз короткострокових функціональних результатів впровадження оригінального тотального реверсивного модульного ендопротеза плечового суглоба у хірургічному лікуванні пацієнтів з переломами проксимального відділу плечової кістки або їх наслідками на тлі зниженої мінеральної щільності кісткової тканини.

Пацієнти та методи

Проспективне дослідження проведене у групі з 14 пацієнтів відповідно до етичних принципів, викладених у Гельсінкській де-

Introduction

Epidemiological studies and recent reviews highlight the growing concern regarding the increasing incidence of proximal humerus fractures (PHF), which now rank second in prevalence among upper limb fractures and account for 5–7% of all musculoskeletal injuries. This incidence is rising in parallel with the increasing share of the elderly population [1–3].

It has been observed that the frequency of PHF is higher among individuals over 50, particularly among women [4–5]. In this population, a significant proportion of fractures result from low-energy falls, mostly from standing height in domestic settings. Most of these fractures are complex and displaced, with their severity increasing with age [2]. The increasing risk and severity of PHF with advancing age can be attributed to a higher likelihood of falls and the progressive decline in bone mineral density due to aging [6–7].

Some authors emphasize that achieving positive outcomes in the most common three- and four-part PHF, particularly in the elderly, is challenging with conservative treatment and can only be reliably achieved through surgical intervention [8–9]. Given the complexity of PHF, it has been noted that surgeons must possess comprehensive knowledge of fracture characteristics, available treatment options, and potential complications. This expertise is essential for enhancing patient safety and ensuring satisfactory clinical outcomes [1].

An analysis of current trends in the surgical management of PHF indicates a significant increase in the use of reverse total shoulder arthroplasty (RTSA), rising from 4% in 2007 to 34% in 2018. This increase is particularly pronounced in patients over 65, in comparison with hemiarthroplasty and open reduction and internal fixation (ORIF) [3; 10]. The substantial rise in RTSA utilization is considered indicative of advancements in surgical techniques [9; 11–12].

Statistical data demonstrate that RTSA has become a favorable choice for the treatment of displaced three- and four-part PHF in elderly patients, as it provides better clinical outcomes and a lower revision surgery rate compared to other treatment modalities under similar conditions [8; 13–14]. RTSA is now re-

garded as the gold standard for surgical management of displaced three- and four-part fractures in the elderly population [15].

Guidelines from the European Society for Trauma and Emergency Surgery (ESTES) emphasize the growing trend toward reverse shoulder arthroplasty, particularly in patients over 75 years of age. RTSA, including secondary RTSA following previous surgical treatment, has been associated with favorable clinical outcomes and a low revision rate [16]. Furthermore, reverse shoulder arthroplasty demonstrates long-term benefits, broader indications for traumatic injuries, and high patient satisfaction rates [17].

Given this background, RTSA is considered a modern, rational, and safe treatment option for PHF, especially in patients with complex fractures and/or elderly individuals [3].

The current demographic situation in Ukraine is characterized by an increasing share of the population over 60. Therefore, research and implementation of modern treatment strategies for PHF, which increasingly contribute to functional limitations and reduced quality of life in elderly individuals, are both relevant and timely.

The objective of this study is to analyze the short-term functional outcomes of implementing an original modular reverse total shoulder arthroplasty prosthesis in the surgical management of patients with complex proximal humerus fractures against the background of reduced bone mineral density.

The aim of the study is to evaluate the short-term functional outcomes of utilizing an original modular reverse total shoulder prosthesis in the surgical treatment of patients with proximal humerus fractures or their sequelae in the context of decreased bone mineral density.

Methods

A prospective study was conducted on a cohort of 14 patients according to the ethical principles outlined in the Declaration of Helsinki. The study was approved by the Bioethics Committee of the Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine (April 22, 2019, Proto-

кларачії. Проведення дослідження схвалене комісією з біоетики ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» (протокол №191 від 22.04.2019 та протокол № 229 від 20.02.2023). Всі пацієнти надали письмову інформовану згоду, підтверджуючи свою добровільну участь і розуміння процедур дослідження, потенційних ризиків і переваг. Для забезпечення конфіденційності пацієнтів усі особисті дані були анонімізовані відповідно до етичних принципів. Жодних конфліктів інтересів щодо етичного проведення цього дослідження не було виявлено.

Хірургічне лікування пацієнтів проведене у період 2020-2023 рр. на базі КНП «Міська клінічна лікарня № 16» ДМР (Дніпро, Україна). Усі пацієнти відповідали таким умовам залучення до дослідження:

- вік не менше 50 років;
- перелом ПВПК типу 11-В або 11-С за класифікацією АО/ОТА [18];
- прояв зниження мінеральної щільності кісткової тканини зі значенням кіркового індексу KI ≤ 0.4 .

При залученні не було обмежень на термін після травми – залучали як пацієнтів із гострою травмою, так і тих, хто мав застарілі переломи або ускладнення після невдалої ORIF.

Усім пацієнтам у передопераційному періоді проводили стандартне клінічне обстеження та рентгенологічне обстеження ПВПК травмованої руки. Для виявлення особливостей зміщення уламків ПВПК та дефектів кістки всім пацієнтам виконували спіральну комп'ютерну томографію (СКТ). Мінеральну щільність кісткової тканини у всіх пацієнтів оцінювали за рентгенограмами плечової кістки у передньо-задній проекції з обчисленням KI [19]. Щільність кісткової тканини є предиктором якості хірургічної репозиції та можливості прорізання або міграції гвинтів при розгляді ймовірності проведення відкритої репозиції та накісткової фіксації.

Усі операції виконували у напівсидячому стані (так званий стан пляжного крісла) під загальною та провідниковою анестезією. Для всіх пацієнтів забезпечували інтраопераційний рентгенологічний контроль за допомогою C-arm. Щодо восьми пацієнтів

використали дельтопекторальний доступ, щодо решти шести – передньолатеральний. Дельтопекторальний доступ використовують при застарілих переломах плечового суглоба, або у випадку раніше проведених хірургічних операцій за цим доступом, оскільки це дає змогу максимально ретельно виділити рубцеві тканини та орієнтуватися в складній змінній анатомії як кісток, так і судинно-нервових структур, особливо при зміщенні фрагментів голівки до переду або до заду відносно гленоїдальної западини. При проведенні первинного реверсивного ендопротезування у перші тижні після травми передньолатеральний доступ менш травматичний і дає можливість зручно провести обробку гленоїдальної западини та імплантацію ніжки, а за потреби – з остеосинтезом горбків до проксимальної частини ендопротезу.

Хірургічні втручання проведені з використанням оригінального реверсивного тотального модульного ендопротеза плечового суглоба, виготовленого із застосуванням адитивних технологій, які дають змогу виготовляти компоненти ендопротезів складних геометричних форм [20]. У запропонованому ендопротезі гленоїдальну голівку (напівсферу) виготовляють або з титанового, або з кобальтохромового сплаву, а гленоїдальну опорну пластину та проксимальну плечову частину ендопротеза друкують на 3D-принтері з титанового порошку, що уможлиблює за потреби змінювати її форму (рис. 1). Виробник – підприємство ТОВ «Велта Медікал»: вул. Сергія Подолинського, буд. 31в, м. Дніпро, Дніпропетровська обл., 49000, Україна, код ЄДРПОУ 45177599. Сертифікат 80139 ДСТУ: EN ISO/IEC 17021-1, зареєстрований у Реєстрі органу з сертифікації 19 грудня 2023 року №80139.СУЯ.42-23, дійсний до 18 грудня 2026 р.: «Проектування та виробництво хірургічних імплантатів для ортопедії та травматології, що виготовляються на замовлення, яке здійснюється товариством з обмеженою відповідальністю «Велта Медікал».

У 10-ти пацієнтів через наявність дефектів гленоїдальної западини лопатки на основі даних СКТ проведене індивідуальне 3D проектування опорних пластин з урахуванням дефекту та здійснене виготовлення відпо-

col No. 191; February 20, 2023, Protocol No. 229). All patients provided written informed consent, confirming their voluntary participation and understanding of the study procedures, potential risks, and benefits. To ensure patient confidentiality, all personal data were anonymized in compliance with ethical principles. No conflicts of interest were identified in relation to the ethical conduct of this study.

Surgical treatment was performed between 2020 and 2023 at the Municipal Non-Profit Enterprise "City Clinical Hospital No. 16" of the Dnipro City Council (Dnipro, Ukraine). All patients met the following inclusion criteria:

- age \geq 50 years;
- proximal humerus fracture classified as type 11-B or 11-C according to the AO/OTA classification [18];
- significant reduction in bone mineral density with a cortical index (CI) \leq 0.4.

There were no restrictions regarding the time elapsed since the injury. The study included both patients with acute trauma and those with chronic fractures or complications following failed ORIF.

All patients underwent standard preoperative clinical and radiographic evaluation of the injured proximal humerus. Spiral computed tomography (CT) was performed for all patients to assess fracture displacement and bone defects. Bone mineral density was evaluated using anteroposterior radiographs of the humerus with CI calculation [19]. The bone mineral density is a predictor of the quality of surgical reduction and the potential for screw cut-out or migration when considering open reduction and internal fixation.

All surgeries were performed in the "beach chair" position under general and regional anesthesia. Intraoperative radiographic control was provided using a C-arm fluoroscopic system for all cases. A deltopectoral approach was used in eight patients, while an anterolateral approach was applied in the remaining six patients. The deltopectoral approach is used for chronic shoulder fracture-dislocations or in cases of previous surgeries using this approach because it allows for the most thorough isolation of scar tissue and orientation in complex altered anatomy, both of bones and neurovascular structures, especially when fragments of the humeral head are displaced anteriorly or posteriorly relative to the glenoid fossa. When performing primary reverse shoulder arthroplasty in the first weeks after trauma, the anterolateral approach is less traumatic. It allows for convenient preparation of the glenoid fossa and implantation of the stem, with tubercle osteosynthesis to the proximal part of the endoprosthesis as needed.

The surgical procedure involved using an original modular reverse total shoulder prosthesis based on additive manufacturing technologies, enabling the production of complex geometric prosthetic components [20]. In the proposed prosthesis, the glenoid head (hemisphere) was made from either a titanium or cobalt-chromium alloy. In contrast, the glenoid support plate and proximal humeral component were 3D-printed from titanium powder, allowing for shape customization if required (Fig. 1). Manufacturer: VELTA MEDICAL LLC, 31v Serhiya Podolynskoho Str., Dnipro, Dnipropetrovsk Oblast, 49000, Ukraine, EDRPOU code 45177599. Certificate 80139 DSTU EN ISO/IEC 17021-1, registered in the Register of the Certification Body on December 19, 2023,

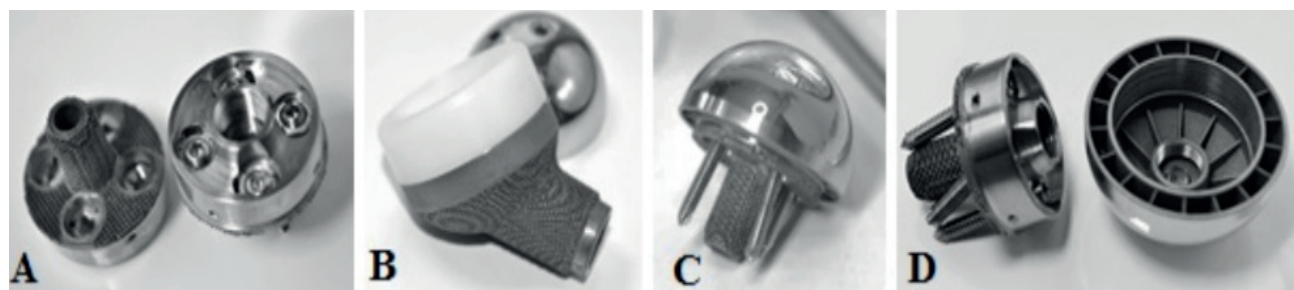


Figure 1 External view of the components of the modular reverse total shoulder prosthesis: A—glenoid support plate; B—porous proximal component with a high-molecular-weight polyethylene insert; C—glenoid hemisphere with the support plate and screws; D—glenoid support plate and the inner section of the glenoid hemisphere

відних компонентів з трабекулярного титану із застосуванням адитивних технологій 3D-друку (рис. 2). В одному випадку виконане індивідуальне моделювання та виготовлення ніжки ендопротеза.

Функцію плечового суглоба за результатами лікування оцінювали у балах за шкалою Constant-Murley Shoulder Score (CMS) – багатобальною функціональною шкалою з максимальним загальним балом 100, що відображає оптимальну функцію плеча. Оцінювання здійснювали через 3, 6 і 12 місяців після хірургічного втручання. Через організаційні причини терміни річного обстеження варіювалися між 49 та 54 тижнями. Бали за системою CMS для кожного пацієнта визначали з точністю до цілого числа з огляду на цілочисельність шкали.

При аналізі результатів категоріальні змінні наведені у відсотках, демографічні дані – як середні значення та діапазони, а кількісні оцінки – як середнє (\bar{x}) \pm середнє квадратичне відхилення середнього арифметичного (SE). Відмінності між функціональними результатами у балах CMS оцінювали за

критерієм Тьюкі на рівні значущості $p < 0.05$ на основі результатів одностороннього дисперсійного аналізу (ANOVA).

Результати

Демографічні та початкові клінічні дані пацієнтів наведені у табл. 1. У групі переважали жінки, половина пацієнтів мали вік у діапазоні 60–72 роки. Всі травми були побутові. Зафіксовані значні відмінності у часі від травми до операції: від 2 (дві особи) до 270 (одна особа) діб, для половини пацієнтів цей час був у діапазоні 30–90 діб.

Більшість пацієнтів мали ушкодження правої руки, переважали переломи типу 11-С за класифікацією АО/ОТА. Всі пацієнти мали очевидне зниження мінеральної щільності кісткової тканини, більш як половина (вісім осіб, 57.1%) мали кірковий індекс у діапазоні (0.30–0.38).

Завдяки конструктивним особливостям розробленого модульного ендопротеза його було застосовано у тих пацієнтів групи, які на тлі зниження мінеральної щільності кісткової тканини мали очевидні дефекти ПВПК.

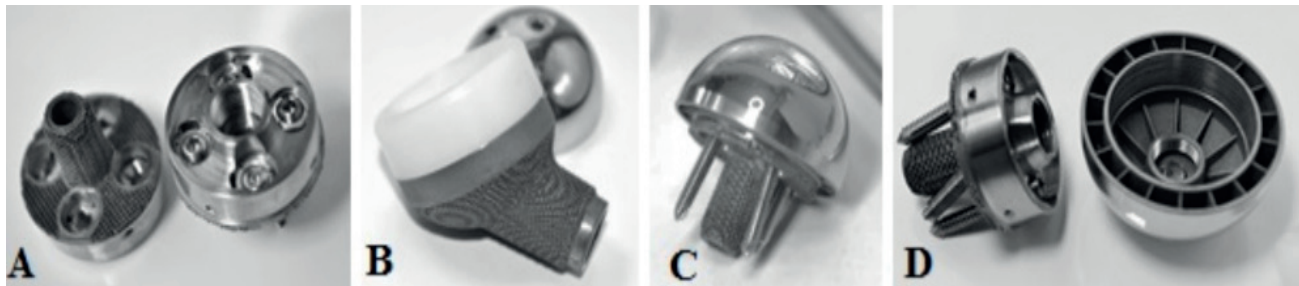


Рисунок 1. Зовнішній вигляд компонентів реверсивного модульного ендопротеза плечового суглоба: А – гленоїдальна опорна пластина; В – пориста проксимальна частина з вкладкою із високомолекулярного поліетилену; С – гленоїдальна напівсфера разом із гленоїдальною опорною пластиною та гвинтами; D – гленоїдальна опорна пластина та внутрішня частина гленоїдальної напівсфери

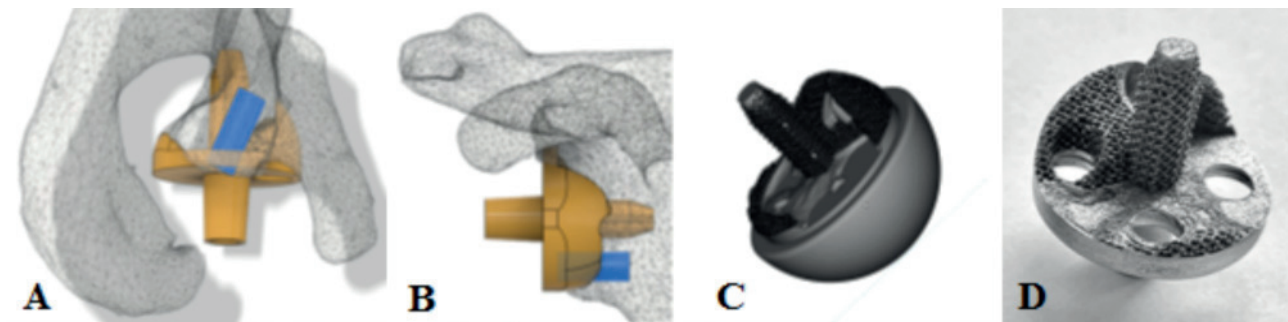


Рисунок 2. Гленоїдальна опорна пластина під гленоїдальну голівку (напівсферу) протеза з урахуванням заміщення дефектів: А, В – комп'ютерні 3D-моделі; С – 3D-модель опорної пластини з напівсферою; D – опорна пластина під напівсферу, виготовлена за допомогою 3D-друку із трабекулярного титану

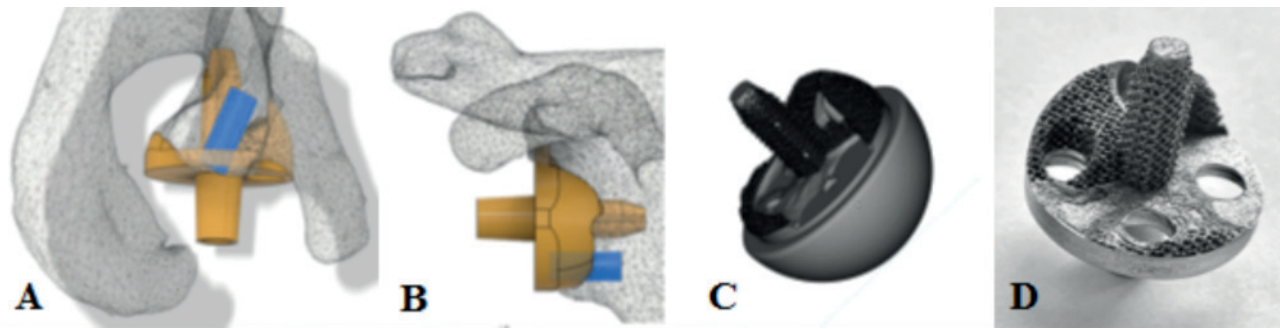


Figure 2 Glenoid support plate for the glenoid head (hemisphere) with defect compensation: A, B—computer-generated 3D models; C—3D model of the support plate with the hemisphere; D—support plate manufactured using 3D printing from trabecular titanium

No. 80139.SUYA.42-23, valid until December 18, 2026: "Design and manufacture of custom-made surgical implants for orthopedics and traumatology, carried out by VELTA MEDICAL Limited Liability Company."

In 10 patients, due to the presence of glenoid cavity defects, individualized 3D modeling of support plates was performed based on CT data, considering the defect characteristics. These custom components were manufactured from trabecular titanium using additive 3D-printing technologies (Fig. 2). In one case, an individualized design and fabrication of the prosthetic stem was conducted.

Shoulder function was assessed using the Constant-Murley Shoulder Score (CMS), a comprehensive functional scoring system with a maximum total score of 100, representing optimal shoulder function. Evaluations were conducted at 3, 6, and 12 months postoperatively. Due to logistical constraints, the timing of the one-year follow-up ranged from 49 to 54 weeks. CMS scores for each patient were determined with whole-number precision, given the discrete nature of the scoring system.

For data analysis, categorical variables were presented as percentages, demographic data as mean values and ranges, and quantitative assessments as mean (\bar{x}) \pm standard error of

the mean (SE). Differences in functional outcomes based on CMS scores were assessed using Tukey's test at a significance level of $p < 0.05$, based on the results of a one-way analysis of variance (ANOVA).

Results

Demographic and baseline clinical data of patients are presented in Table 1. Most of the study group were female, with half of the patients aged between 60 and 72 years. All injuries were domestic in origin. A wide variation in the time from injury to surgery was observed, ranging from 2 days (2 patients) to 270 days (1 patient), with half of the patients undergoing surgery within 30–90 days post-injury. Most patients sustained right-sided injuries, and the majority of fractures were classified as type 11-C according to the AO/OTA classification. All patients demonstrated significantly reduced bone mineral density, with more than half (8 individuals, 57.1%) having a cortical index (CI) within the range of 0.30–0.38.

Owing to the modular prosthesis's structural design, it was successfully applied in patients with pronounced proximal humerus defects and decreased bone mineral density.

Clinical Case 1. Patient C., female, 71 years old, was admitted to the department six months after injury with a diagnosis of chronic

Table 1

Demographic and baseline clinical data of patients (N = 14)

Indicator	$\bar{x} \pm SE$, Range	Indicator	Number (Percentage)
Age (years)	65.0 \pm 7.8 (50–76)	Sex: female / male	8 (57.1) / 6 (42.9)
Time between injury and surgery (days)	82.3 \pm 70.5 (2–270)	Affected side: right / left	10 (71.4) / 4 (28.6)
Cortical index	0.36 \pm 0.04 (0.30–0.40)	AO/OTA type: 11-C / 11-B	9 (64.3) / 5 (35.7)

Таблиця 1

Демографічні та початкові клінічні дані пацієнтів (N = 14)

Показник	x ± SE, діапазон	Показник	Кількість (частка, %)
Вік, повні роки	65.0 ± 7.8 (50–76)	Стать: жінки / чоловіки	8 (57.1) / 6 (42.9)
Час від травми до операції, днів	82.3 ± 70.5 (2–270)	Сторона ушкодження: права / ліва	10 (71.4) / 4 (28.6)
Корковий індекс	0.36 ± 0.04 (0.30–0.40)	Тип перелому за АО/ОТА: 11-С / 11-В	9 (64.3) / 5 (35.7)

Примітки: x – середнє, SE – середнє квадратичне відхилення середнього арифметичного

Клінічний приклад 1. Пацієнтка С., 71 рік, потрапила до відділення через 6 місяців після травми з діагнозом: застарілий переломовивих правого плечового суглоба з очевидною привідною контрактурою та проявом больового синдрому; тип перелому 11-В32 за АО/ОТА; KI = 0,30, дефект суглобової поверхні гленоїдальної западини (рис. 3А). За результатами МРТ встановлене ушкодження м'язів обертальної манжети плеча. Через наявність дефекту гленоїдальної западини пацієнтці на підставі даних СКТ проведено індивідуальне 3D моделювання та створення індивідуальної гленоїдальної базової пластини під гемісферу реверсивного ендопротеза плечової кістки з трабекулярного титану. Під загальною та провідниковою анестезією пацієнтці виконане первинне тотальне реверсивне ендопротезування (рис. 3В,С). Імобілізація пов'язкою типу Дезо тривала чотири тижні. Пасивні рухи в плечовому суглобі під контролем фізичного терапевта були дозволені на першому тижні після операції, активні – че-

рез чотири тижні. Функція плечового суглоба відновилася і через 3 місяці після операції оцінена на 85 балів CMS.

Розроблений модульний ендопротез був застосований також у чотирьох випадках очевидного дефекту ПВПК після невдалої ORIF.

Клінічний приклад 2. Пацієнтка Б., 50 років, потрапила до відділення через 9 місяців після побутової травми із закритим осколковим переломом проксимального відділу лівої плечової кістки типу 11-С21 за АО/ОТА з діагнозом: аваскулярний некроз голівки лівої плечової кістки після ORIF PHILOS з проявами больового синдрому, відсутністю функції відведення та згинання лівої верхньої кінцівки у плечовому суглобі; KI = 0.40. Зафіксована відсутність консолидації на тлі зниженої мінеральної щільності кісткової тканини, а також вторинне зміщення відламків і міграція металоконструкції (рис. 4А,В). Пацієнтці під загальною та провідни-

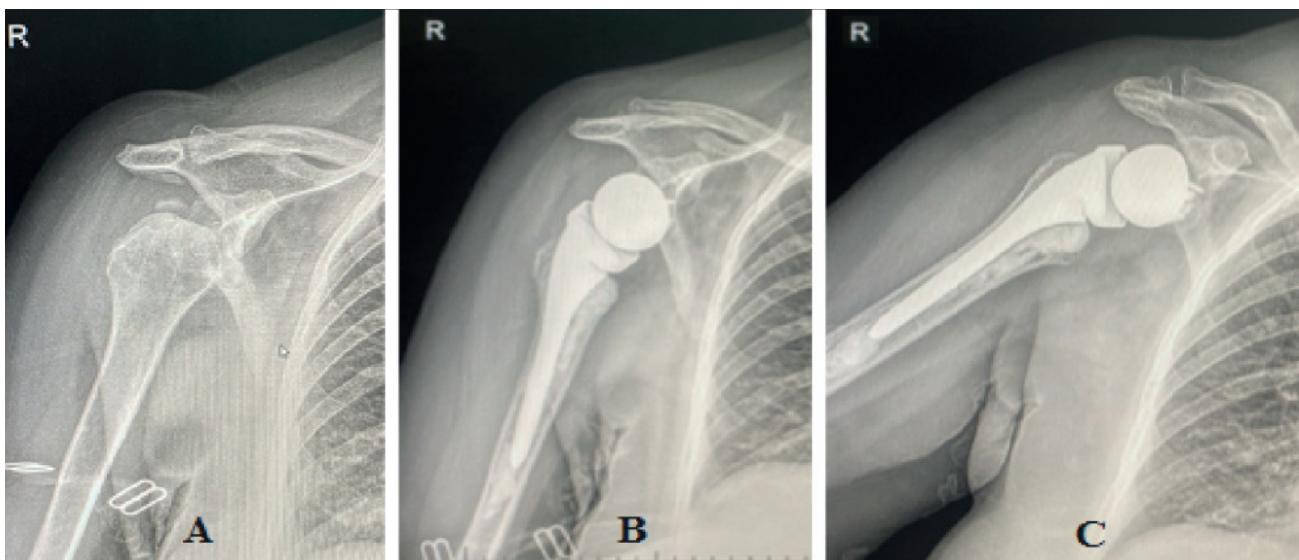


Рисунок 3. Рентгенограми пацієнтки С.: А – до операції, застарілий переломовивих плечового суглоба з дефектом суглобової поверхні гленоїдальної западини; В, С – через 3 місяці після первинного тотального реверсивного ендопротезування

fracture-dislocation of the right shoulder joint, marked adduction contracture, and severe pain syndrome. The fracture was classified as type 11-B3.2 according to AO/OTA; CI = 0.30, with a defect of the articular surface of the glenoid cavity (Fig. 3A).

MRI findings revealed damage to the rotator cuff muscles. Due to the presence of a glenoid cavity defect, individualized 3D modeling and fabrication of a custom glenoid baseplate for the hemisphere of the reverse prosthesis from trabecular titanium were performed based on spiral CT data. Under general and regional anesthesia, the patient underwent primary total reverse shoulder arthroplasty (Fig. 3B, C). Immobilization with a Desault-type sling was maintained for four weeks. Passive movements under the supervision of a physical therapist were initiated during the first postoperative week, with active movements permitted after four weeks. Shoulder joint function was restored and evaluated at 85 points on CMS three months postoperatively.

The developed modular prosthesis was also used in 4 cases with significant proximal humerus defects following failed ORIF.

Clinical Case 2. Patient B., female, 50 years old, was admitted to the department nine months after a domestic trauma with a

closed comminuted fracture of the proximal left humerus, type 11-C2.1, according to the AO/OTA classification. The diagnosis was avascular necrosis of the left humeral head following PHILOS ORIF, accompanied by severe pain, complete absence of abduction and flexion function of the left upper extremity at the shoulder joint; CI = 0.40. Nonunion was documented against the background of decreased bone mineral density, along with secondary displacement of fragments and migration of the fixation hardware (Fig. 4A, B).

Under general and regional anesthesia, the patient underwent left shoulder surgery: removal of hardware, arthrolysis, and total cementless shoulder arthroplasty using the developed modular reverse prosthesis (Fig. 4C). The patient was immobilized using a Desault-type sling for four weeks. Passive shoulder movements under physical therapist supervision were initiated in the fourth week postoperatively, with active movements introduced after six weeks. Shoulder joint function was restored and evaluated at 80 and 85 points on CMS at 6 and 12 months postoperatively, respectively.

The statistical analysis of the results did not reveal any statistically significant differences ($p < 0.05$) within the study group either in the dynamics of functional status changes or

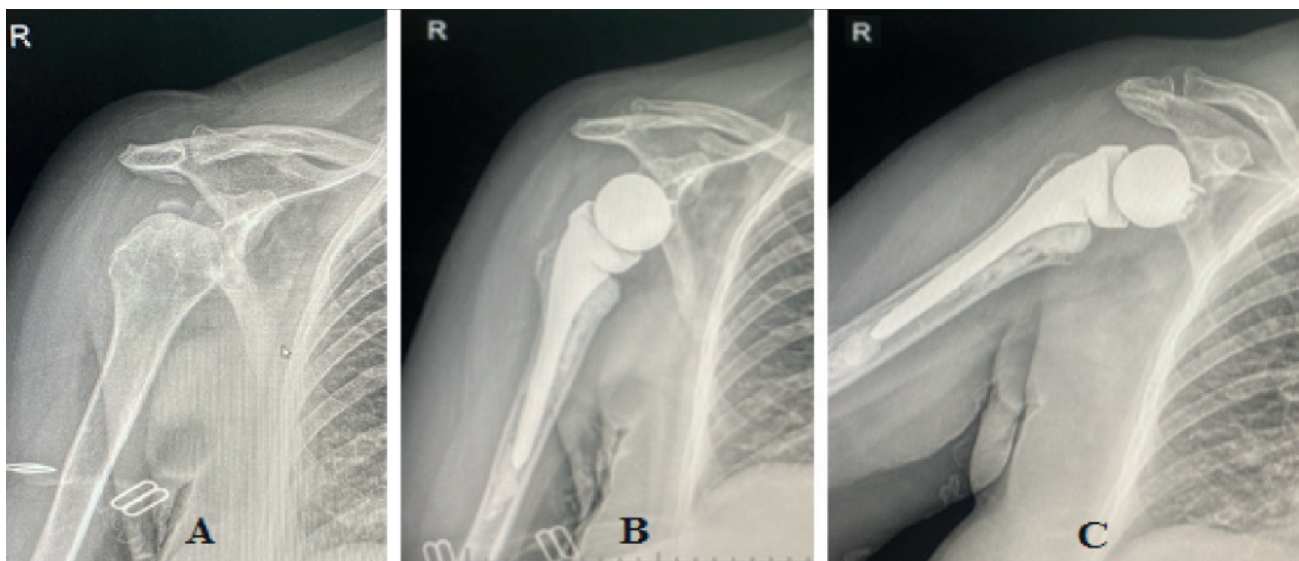


Figure 3 Radiographs of patient C.: A—preoperative image showing chronic fracture-dislocation of the shoulder joint with a defect of the glenoid articular surface; B, C—at 3 months following primary total reverse shoulder arthroplasty

ковою анестезією виконана операція лівого плеча: видалення металоконструкції, артроліз, тотальне безцементне ендопротезування плечового суглоба спеціально розробленим модульним реверсивним ендопротезом (рис. 4С). Пацієнтці проводили іммобілізацію пов'язкою типу Дезо протягом чотирьох тижнів. Пасивні рухи у плечовому суглобі під контролем фізичного терапевта були дозволені на четвертому тижні після операції, активні – через шість тижнів. Функція плечового суглоба відновилася і через 6 та 12 місяців після операції оцінена відповідно на 80 та 85 балів CMS.

Проведений статистичний аналіз результатів не виявив у групі дослідження статистично значущих ($p < 0.05$) відмінностей ані у динаміці змін функціонального стану, ані у балах CMS наприкінці спостереження залежно від віку, статі, сторони ушкодження, типу перелому за класифікацією АО/ОТА, тривалості часу від травми до операції та значення кіркового індексу пацієнтів.

Серед пацієнтів групи зафіксовані чотири ускладнення (28.6%) – три випадки поверхневої інфекції та один вивих ендопротеза. Поверхневу інфекцію усунули із застосуванням антибактеріальної місцевої та системної терапії. Всі четверо пацієнтів з ускладненнями мали позитивну динаміку та через 6 і 12 місяців їхні середні бали CMS

не мали статистично значущих ($p < 0.05$) відмінностей від середніх балів CMS інших пацієнтів групи.

У всіх пацієнтів групи досягнуто відновлення функції плечового суглоба за відсутності ознак нестабільності компонентів ендопротеза. Всі пацієнти протягом 12 місяців мали позитивні функціональні результати. Незадовільні результати або зменшення балів CMS з часом у пацієнтів групи не зафіксовані.

Середній бал CMS пацієнтів групи через 12 місяців після операції показав статистично значуще ($p < 0.05$) зростання від терміну 3 місяці після операції (рис. 5) та становив наприкінці терміну спостереження ($83.57 \pm 2,95$).

У проведеному дослідженні зафіксовані позитивні функціональні результати застосування оригінального ендопротеза при RTSA у хірургічному лікуванні пацієнтів старших 50 років з переломами типу 11-В та 11-С за класифікацією АО/ОТА на тлі зниженої мінеральної щільності кісткової тканини у терміни до 12 місяців.

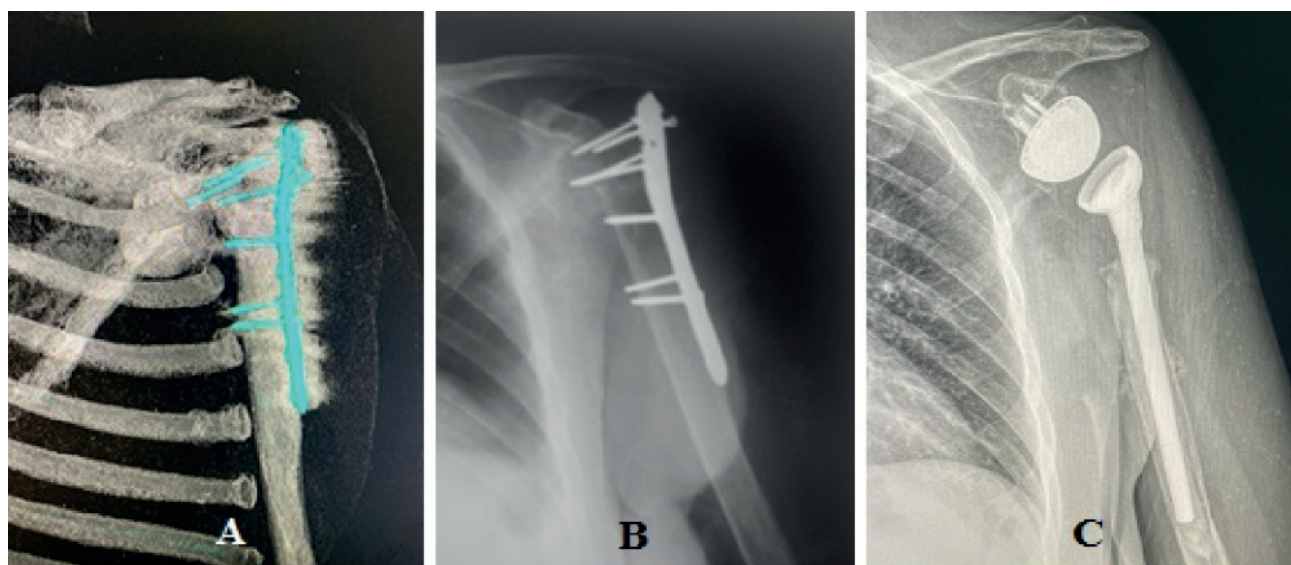


Рисунок 4. Рентгенограми пацієнтки Б.: А – СКТ-скан плечового суглоба з міграцією металоконструкції; В – суглоб з пластиною PHILOS до операції; С – через 12 місяці після тотального реверсивного ендопротезування

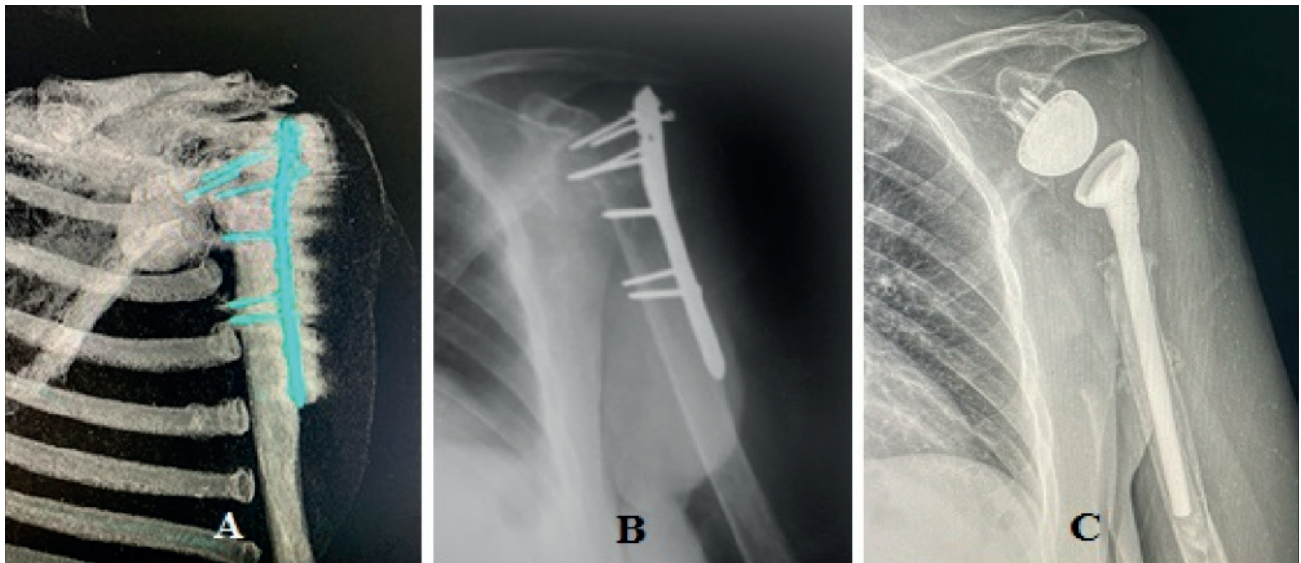


Figure 4 Radiographs of patient B.: A—CT scan of the shoulder joint with hardware migration; B—shoulder joint with PHILOS plate before surgery; C—at 12 months after total reverse shoulder arthroplasty

in CMS at the end of the observation period, with respect to age, sex, side of injury, AO/OTA fracture type, time from injury to surgery, or cortical index values.

Four complications (28.6%) were recorded among patients in the group—three cases of superficial infection and one case of prosthesis dislocation. The superficial infections were resolved through local and systemic antibacterial therapy. All four patients with complications demonstrated positive recovery dynamics, and at 6 and 12 months postoperatively, their mean CMS scores showed no statistically significant differences ($p < 0.05$) compared to the mean CMS scores of the other patients in the group.

All patients achieved restoration of shoulder joint function without signs of prosthesis component instability. Positive functional outcomes were observed in all patients throughout the 12-month follow-up period. No cases of unsatisfactory results or deterioration in CMS scores over time were documented.

The mean CMS score of the study group at 12 months postoperatively demonstrated a statistically significant increase ($p < 0.05$) compared to the 3-month postoperative score (Fig. 5), reaching (83.57 ± 2.95) at the end of the observation period.

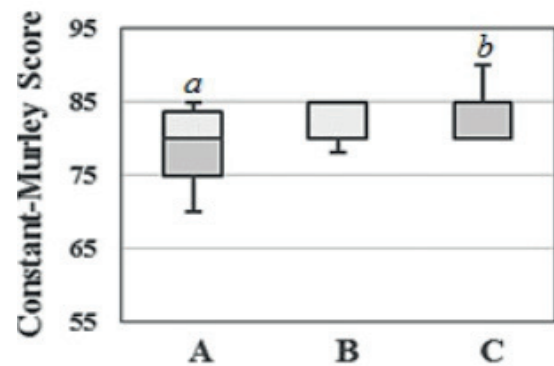


Figure 5 Dynamics of functional outcomes based on mean CMS scores at 3 (A), 6 (B), and 12 (C) months postoperatively; the upper and lower borders of the box represent the 25th and 75th percentiles; the horizontal line within the box indicates the median; dark and light shading indicate the 50th and 75th percentiles respectively; the ends of vertical lines represent the minimum and maximum values; different letters indicate results that differ significantly ($p < 0.05$)

Discussion

The present study demonstrated positive functional outcomes following the application of an original prosthesis in reverse total shoulder arthroplasty (RTSA) for surgical treatment of patients over the age of 50 with type 11-B and 11-C proximal humerus fractures, according to the AO/OTA classification, in the context of reduced bone mineral density within a 12-month follow-up period.

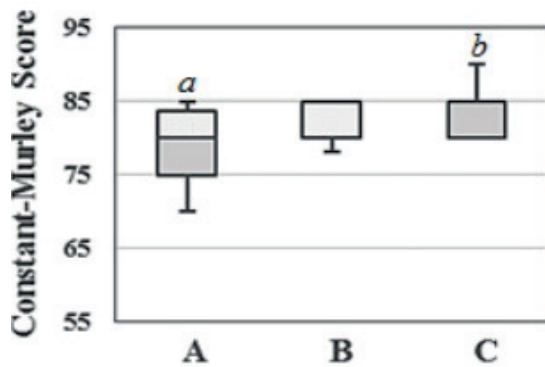


Рисунок 5. Динаміка змін функціональних результатів пацієнтів за середніми балами CMS через 3 (А), 6 (В) та 12 (С) місяців після операції; верхня і нижня межі прямокутника – границі 25% і 75% квантилів; горизонтальна лінія всередині прямокутника – медіана; темний та світлий колір позначають відповідно 50% і 75% квантилів; краї вертикальних ліній – мінімальне та максимальне значення; різні літери позначають результати, які мають статистично значущі ($p < 0.05$) відмінності

Обговорення та висновки

Демографічні характеристики дослідженої групи з більшою часткою жінок загалом відповідають даним інших авторів, які зазначають, що переломи ПВПК у жінок трапляються у два-три рази [1], а в осіб старших 50 років – у чотири рази [2] частіше, ніж у чоловіків.

Так само як і в інших опублікованих дослідженнях [2], у цьому дослідженні не були виявлені статистично значущі відмінності у функціональних результатах пацієнтів залежно від сторони ушкодження, віку та статі.

Автори багатьох досліджень наголошують, що RTSA набуло поширення для хірургічного лікування переломовивихів та переломів плечової кістки зі зміщенням у пацієнтів віком ≥ 65 років, оскільки RTSA забезпечує раннє полегшення болю та повернення функції плеча [9].

У цьому дослідженні RTSA було застосоване для пацієнтів старших 50 років у випадках технічної неможливості інших методів первинного ендопротезування через низьку мінеральну щільність кісткової тканини, очевидні дефекти ПВПК або гленоїдальної суглобової поверхні, а також у випадках застарілих переломовивихів типу 11-В та 11-С за класифікацією АО/ОТА. Поєднання у пацієнтів групи RTSA з адитивними технологіями 3D-друку індивідуальних компонентів

ендопротезів із трабекулярного титану дало змогу подолати технічні складнощі, які виникають при зазначених передопераційних станах пацієнтів за умов використання стандартних комерційних реверсивних ендопротезів плечового суглоба.

Отримані у дослідженні позитивні функціональні результати у пацієнтів при застосуванні розробленого модульного ендопротеза після невдалої ORIF узгоджуються з думкою окремих авторів щодо можливостей RTSA як операції порятунку у випадках невдалих первинних хірургічних корекцій [9]. Проте автори досліджень звертають увагу на необхідність подальших доказів переваг цього методу [9].

Науковці зазначають, що RTSA дає можливість значно покращити функціональні результати за оцінкою CMS та забезпечити відносно кращий вплив на пов'язану зі здоров'ям якість життя, ніж інші методи лікування [12].

Зафіксоване у пацієнтів групи через 12 місяців після операції статистично значуще ($p < 0.05$) збільшення середнього балу CMS до (83.57 ± 2.95) підтверджує доцільність та успішність застосування обраного для цих пацієнтів підходу до ендопротезування. Отримані у дослідженні функціональні результати перевищують порогові показники клінічно важливого поліпшення стану пацієнта, про які, зокрема, повідомляється у літературних джерелах, та які для RTSA визначені на рівні 52 балів CMS через 12 місяців після операції [17].

Частка ускладнень у групі дослідження на рівні 28.6% загалом відповідає результатам інших авторів. Як видно з наукових публікацій, у середньому хірургічне лікування переломів ПВПК супроводжується 42.6% ускладнень [1], при цьому RTSA пов'язане з меншим ризиком вторинної операції [12]. Для RTSA різні автори вказують значення від 34% ускладнень і 20% повторних операцій для 17 пацієнтів [21], до 12.1% ускладнень для 13513 пацієнтів [22] та 18.62% ускладнень і 10.3% повторних операцій для 384158 пацієнтів [23]. Найчастішим ускладненням RTSA фахівці вважають вивих з частотою 2,5% [22]. Для порівняння у цьому

The demographic characteristics of the study group, with a predominance of female patients, are consistent with the findings of other authors, who report that proximal humerus fractures occur two to three times more frequently in women [1] and up to four times more frequently in individuals over 50 [2] compared to men.

In line with other published studies [2], no statistically significant differences in functional outcomes were identified based on the side of injury, age, or sex.

The literature emphasizes that RTSA has become increasingly used for the surgical management of fracture-dislocations and displaced humerus fractures in patients aged ≥ 65 , as it provides early pain relief and restores shoulder function [9].

In the present study, RTSA was applied to patients over 50 years of age in cases where other primary arthroplasty options were technically unfeasible due to low bone mineral density, severe proximal humerus or glenoid defects, or chronic fracture dislocations classified as AO/OTA type 11-B and 11-C. Combining RTSA with additively manufactured, patient-specific prosthetic components made of trabecular titanium allowed the surgical team to overcome technical challenges typically encountered in these preoperative scenarios, which cannot be addressed adequately with standard commercial reverse shoulder prostheses.

The favorable functional outcomes observed following the use of the modular prosthesis in patients with failed ORIF align with existing literature that supports RTSA as a salvage procedure in cases of unsuccessful initial surgical correction [9]. However, the need for further evidence regarding the advantages of this approach remains widely acknowledged [9].

The literature reports that RTSA can significantly improve functional outcomes, as measured by the Constant-Murley Score, and can have a comparatively greater impact on health-related quality of life than alternative treatment methods [12].

The statistically significant increase in the mean CMS to (83.57 ± 2.95) at 12 months postoperatively supports the appropriateness

and success of the chosen arthroplasty strategy for this patient cohort. These results exceed the threshold for minimal clinically significant difference reported in the literature for RTSA, which is defined at 52 CMS points at 12 months postoperatively [17].

The complication rate in the study group (28.6%) is generally in line with published data. Literature sources report that surgical management of proximal humerus fractures is associated with a mean complication rate of 42.6% [1], while RTSA is associated with a lower risk of revision surgery [12]. Reported complication rates for RTSA vary widely, from 34% complications and 20% reoperations in a cohort of 17 patients [21] to 12.1% in a cohort of 13,513 patients [22] and 18.62% complications and 10.3% reoperations among 384,158 patients [23]. Dislocation is the most commonly reported complication of RTSA, with a frequency of 2.5% [22]. In comparison, the current study recorded one case of prosthesis dislocation, representing 7.1%.

The present study's limitations include the small sample size and heterogeneity of the cohort in several parameters, such as time from injury to surgery and cortical index, which limited the ability to identify preoperative risk factors or other variables influencing postoperative functional outcomes.

Further long-term follow-up is necessary to assess outcomes at more extended time points.

In summary, the statistically significant ($p < 0.05$) improvement in functional outcomes observed at 12 months postoperatively confirms the feasibility and effectiveness of reverse shoulder arthroplasty in type 11-B and 11-C fractures with decreased bone mineral density ($CI \leq 0.4$) in patients over 50 years of age.

The implementation of an original modular reverse total shoulder prosthesis made of porous titanium and fabricated using additive 3D-printing technologies in clinical cases with severe proximal humerus defects, where other arthroplasty methods were technically unfeasible, demonstrated favorable short-term outcomes.

The complication rate of 28.6% in the study group remained within the average values reported in comparable studies by other authors.

дослідженні зафіксовано один випадок виходу ендопротеза, що становить 7.1%.

Обмеженнями цього дослідження є невелика кількість пацієнтів у групі, а також гетерогенність групи за низкою показників, зокрема за часом від травми до операції та кірковим індексом, що не дало змоги виявити серед індивідуальних передопераційних показників фактори ризику та інші чинники, які впливають на післяопераційні функціональні результати.

Потрібні також подальші спостереження за пацієнтами групи з реєстрацією функціональних результатів у більш віддалені терміни після операції.

Отже, статистично значуще ($p < 0.05$) поліпшення функціональних результатів пацієнтів досліджуваної групи через 12 місяців після операції підтвердило доцільність за-

стосування реверсивного ендопротезування у випадках переломів типу 11-B та 11-C за класифікацією АО/ОТА при недостатній мінеральній щільності кісткової тканини ($KI \leq 0.4$) у пацієнтів старших 50 років.

Впровадження оригінального тотального реверсивного модульного ендопротеза плечового суглоба з пористого титану, виготовленого за допомогою адитивних 3D-технологій, у клінічних випадках очевидних дефектів ПВПК за відсутності технічної можливості застосування інших методів протезування показало позитивні короткострокові результати.

Частка ускладнень у пацієнтів групи на рівні 28.6% не виходить за межі середніх значень, зафіксованих в аналогічних дослідженнях інших авторів.

Список літератури

1. Czarnecki P, Falis M, Bonczar M, Ostrowski P, Wcisłek J, Romanowski L. Assessing complications and functional outcomes in proximal humerus fracture management: a retrospective comparison between conservative and intramedullary nailing treatments. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2024;34(3):1427–33. doi: 10.1007/s00590-023-03822-5
2. Iglesias-Rodríguez S, Domínguez-Prado DM, García-Reza A, et al. Epidemiology of proximal humerus fractures. *J Orthop Surg Res.* 2021;16(1):402. doi: 10.1186/s13018-021-02551-x
3. George NE. CORR Insights®: short-term complications for proximal humerus fracture surgery have decreased: an analysis of the national surgical quality improvement program database. *Clin Orthop Relat Res.* 2022;480(11):2134–6. doi: 10.1097/CORR.0000000000002430
4. Leino OK, Lehtimäki KK, Mäkelä K, Äärimala V, Ekman E. Proximal humeral fractures in Finland. *Bone Joint J.* 2022;104-B(1):150–6. doi: 10.1302/0301-620X.104B1.BJJ-2021-0987.R1
5. Relvas Silva M, Linhares D, Leite MJ, et al. Proximal humerus fractures: epidemiology and trends in surgical management of hospital-admitted patients in Portugal. *JSES Int.* 2022;6(3):380–4. doi: 10.1016/j.jseint.2021.12.003
6. Patel AH, Wilder JH, Ofa SA, et al. How age and gender influence proximal humerus fracture management in patients older than fifty years. *JSES Int.* 2022;6(2):253–8. doi: 10.1016/j.jseint.2021.11.007
7. Patel AH, Wilder JH, Ofa SA, et al. Trending a decade of proximal humerus fracture management in older adults. *JSES Int.* 2022;6(1):137–43. doi: 10.1016/j.jseint.2021.08.006
8. Samborski SA, Haws BE, Karnyski S, et al. Outcomes for type C proximal humerus fractures in the adult population: comparison of nonoperative treatment, locked plate fixation, and reverse shoulder arthroplasty. *JSES Int.* 2022;6(5):755–62. doi: 10.1016/j.jseint.2022.05.006
9. Lin CC, Karlin E, Boin MA, et al. Operative treatment of proximal humeral fractures with reverse total shoulder arthroplasty in patients ≥ 65 years old: a critical analysis review. *JBJS Rev.* 2022;10(5):e21.00245. doi: 10.2106/JBJS.RVW.21.00245
10. Cagnetti DJ, Arana AA, Hoof M, Mason G, Lin A, Sheean AJ. Short-term complications for proximal humerus fracture surgery have decreased: an analysis of the national surgical quality improvement program database. *Clin Orthop Relat Res.* 2022;480(11):2122–33. doi: 10.1097/CORR.0000000000002391
11. McLean AS, Price N, Graves S, Hatton A, Taylor FJ. Nationwide trends in management of proximal humeral fractures: an analysis of 77,966 cases from 2008 to 2017. *J Shoulder Elb Surg.* 2019;28(11):2072–8. doi: 10.1016/j.jse.2019.03.034
12. Zheng Y, Tang N, Zhang W-J, Shi W, Zhao W-W, Yang K. Comparative efficacy and safety of medical treatments for proximal humerus fractures: a systematic review and network meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2024;25(1):17. doi: 10.1186/s12891-023-07053-x

References

1. Czarnecki P, Falis M, Bonczar M, Ostrowski P, Wcisłek J, Romanowski L. Assessing complications and functional outcomes in proximal humerus fracture management: a retrospective comparison between conservative and intramedullary nailing treatments. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2024;34(3):1427–33. doi: 10.1007/s00590-023-03822-5
2. Iglesias-Rodríguez S, Domínguez-Prado DM, García-Reza A, et al. Epidemiology of proximal humerus fractures. *J Orthop Surg Res.* 2021;16(1):402. doi: 10.1186/s13018-021-02551-x
3. George NE. CORR Insights®: short-term complications for proximal humerus fracture surgery have decreased: an analysis of the national surgical quality improvement program database. *Clin Orthop Relat Res.* 2022;480(11):2134–6. doi: 10.1097/CORR.0000000000002430
4. Leino OK, Lehtimäki KK, Mäkelä K, Äärimaa V, Ekman E. Proximal humeral fractures in Finland. *Bone Joint J.* 2022;104-B(1):150–6. doi: 10.1302/0301-620X.104B1.BJJ-2021-0987.R1
5. Relvas Silva M, Linhares D, Leite MJ, et al. Proximal humerus fractures: epidemiology and trends in surgical management of hospital-admitted patients in Portugal. *JSES Int.* 2022;6(3):380–4. doi: 10.1016/j.jseint.2021.12.003
6. Patel AH, Wilder JH, Ofa SA, et al. How age and gender influence proximal humerus fracture management in patients older than fifty years. *JSES Int.* 2022;6(2):253–8. doi: 10.1016/j.jseint.2021.11.007
7. Patel AH, Wilder JH, Ofa SA, et al. Trending a decade of proximal humerus fracture management in older adults. *JSES Int.* 2022;6(1):137–43. doi: 10.1016/j.jseint.2021.08.006
8. Samborski SA, Haws BE, Karnyski S, et al. Outcomes for type C proximal humerus fractures in the adult population: comparison of nonoperative treatment, locked plate fixation, and reverse shoulder arthroplasty. *JSES Int.* 2022;6(5):755–62. doi: 10.1016/j.jseint.2022.05.006
9. Lin CC, Karlin E, Boin MA, et al. Operative treatment of proximal humeral fractures with reverse total shoulder arthroplasty in patients ≥65 years old: a critical analysis review. *JBJS Rev.* 2022;10(5):e21.00245. doi: 10.2106/JBJS.RVW.21.00245
10. Cognetti DJ, Arana AA, Hoof M, Mason G, Lin A, Sheehan AJ. Short-term complications for proximal humerus fracture surgery have decreased: an analysis of the national surgical quality improvement program database. *Clin Orthop Relat Res.* 2022;480(11):2122–33. doi: 10.1097/CORR.0000000000002391
11. McLean AS, Price N, Graves S, Hatton A, Taylor FJ. Nationwide trends in management of proximal humeral fractures: an analysis of 77,966 cases from 2008 to 2017. *J Shoulder Elb Surg.* 2019;28(11):2072–8. doi: 10.1016/j.jse.2019.03.034
12. Zheng Y, Tang N, Zhang W-J, Shi W, Zhao W-W, Yang K. Comparative efficacy and safety of medical treatments for proximal humerus fractures: a systematic review and network meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2024;25(1):17. doi: 10.1186/s12891-023-07053-x
13. Du S, Ye J, Chen H, Li X, Lin Q. Interventions for treating 3- or 4-part proximal humeral fractures in elderly patient: A network meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Surg.* 2017;48:240–6. doi: 10.1016/j.ijso.2017.09.002
14. Larose G, Virk MS. The evolution of reverse total shoulder arthroplasty and its current use in the treatment of proximal humerus fractures in the older population. *J Clin Med.* 2022;11(19):5832. doi: 10.3390/jcm11195832
15. Vall M, Natera L, Witney-Lagen C, et al. Reverse shoulder replacement versus hemiarthroplasty for proximal humeral fracture in elderly patients: a systematic review. *Musculoskelet Surg.* 2022;106(4):357–67. doi: 10.1007/s12306-022-00761-y
16. Wendt KW, Jaeger M, Verbruggen J, et al. ESTES recommendations on proximal humerus fractures in the elderly. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2021;47(2):381–95. doi: 10.1007/s00068-020-01437-7
17. Yang C, Yang AZ, Xu S, Yew A, Lie DTT. Determining patient acceptable symptom states from patient-reported outcome measures following reverse shoulder arthroplasty: Constant-Murley, UCLA, Oxford Shoulder Scores. *J Orthop.* 2024;54:143–7. doi: 10.1016/j.jor.2024.03.022
18. Marongiu G, Leinardi L, Congia S, Frigau L, Mola F, Capone A. Reliability and reproducibility of the new AO/OTA 2018 classification system for proximal humeral fractures: a comparison of three different classification systems. *J Orthop Traumatol.* 2020;21(1):4. doi: 10.1186/s10195-020-0543-1
19. den Teuling J, Pauwels B, Janssen L, et al. The influence of bone mineral density and cortical index on the complexity of fractures of the proximal humerus. *Bone Joint Res.* 2017;6(10):584–9. doi: 10.1302/2046-3758.610.BJR-2017-0080
20. Korzh MO, Manukian VA, Kosiakov OM, Makarov VB, Kovalev AM, Strelnytskyi VY, Vasyliiev VV, Yermakov VR, Nikitin YM, Grebennikov KO, Chupryna DO, inventors; Makarov VB, patent holder. Reversible total modular endoprosthesis of the shoulder joint. Patent 147264 Ukraine: IPC A61F 2/38 (2006.01). № u202101238; appl. data 12.03.2021; publ. date 21.04.2021, Bul.16.
21. Tagliero LE, Esper R, Sperling JW, Morrey ME, Barlow JD, Sanchez-Sotelo J. Complications after reverse

13. Du S, Ye J, Chen H, Li X, Lin Q. Interventions for treating 3- or 4-part proximal humeral fractures in elderly patient: A network meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Surg.* 2017;48:240–6. doi: 10.1016/j.ijso.2017.09.002
14. Larose G, Virk MS. The evolution of reverse total shoulder arthroplasty and its current use in the treatment of proximal humerus fractures in the older population. *J Clin Med.* 2022;11(19):5832. doi: 10.3390/jcm11195832
15. Vall M, Natera L, Witney-Lagen C, et al. Reverse shoulder replacement versus hemiarthroplasty for proximal humeral fracture in elderly patients: a systematic review. *Musculoskelet Surg.* 2022;106(4):357–67. doi: 10.1007/s12306-022-00761-y
16. Wendt KW, Jaeger M, Verbruggen J, et al. ESTES recommendations on proximal humerus fractures in the elderly. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2021;47(2):381–95. doi: 10.1007/s00068-020-01437-7
17. Yang C, Yang AZ, Xu S, Yew A, Lie DTT. Determining patient acceptable symptom states from patient reported outcome measures following reverse shoulder arthroplasty: Constant-Murley, UCLA, Oxford Shoulder Scores. *J Orthop.* 2024;54:143–7. doi: 10.1016/j.jor.2024.03.022
18. Marongiu G, Leinardi L, Congia S, Frigau L, Mola F, Capone A. Reliability and reproducibility of the new AO/OTA 2018 classification system for proximal humeral fractures: a comparison of three different classification systems. *J Orthop Traumatol.* 2020;21(1):4. doi: 10.1186/s10195-020-0543-1
19. den Teuling J, Pauwels B, Janssen L, et al. The influence of bone mineral density and cortical index on the complexity of fractures of the proximal humerus. *Bone Joint Res.* 2017;6(10):584–9. doi: 10.1302/2046-3758.610.BJR-2017-0080
20. Korzh MO, Manukian VA, Kosiakov OM, Makarov VB, Kovalev AM, Strelnytskyi VY, Vasyliiev VV, Yermakov VR, Nikitin YM, Grebennikov KO, Chupryna DO, inventors; Makarov VB, patent holder. Reversible total modular endoprosthesis of the shoulder joint. Patent 147264 Ukraine: IPC A61F 2/38 (2006.01). № u202101238; appl. data 12.03.2021; publ. data 21.04.2021, Bul.16.
21. Tagliero LE, Esper R, Sperling JW, Morrey ME, Barlow JD, Sanchez-Sotelo J. Complications after reverse shoulder arthroplasty for proximal humerus nonunion. *J shoulder Elb Surg.* 2025;34(3):828–36. doi: 10.1016/j.jse.2024.05.020
22. Dolci A, Melis B, Verona M, Capone A, Marongiu G. Complications and Intraoperative Fractures in Reverse Shoulder Arthroplasty: A Systematic Review. *Geriatr Orthop Surg Rehabil.* 2021;12. doi: 10.1177/21514593211059865
23. Alrabaa RG, Ma G, Truong NM, et al. Trends in Surgical Treatment of Proximal Humeral Fractures and Analysis of Postoperative Complications Over a Decade in 384,158 Patients. *JBJS Open Access.* 2022;7(4). doi: 10.2106/JBJS.OA.22.00008

- shoulder arthroplasty for proximal humerus nonunion. *J shoulder Elb Surg.* 2025;34(3):828–36. doi: 10.1016/j.jse.2024.05.020
22. Dolci A, Melis B, Verona M, Capone A, Marongiu G. Complications and Intraoperative Fractures in Reverse Shoulder Arthroplasty: A Systematic Review. *Geriatr Orthop Surg Rehabil.* 2021;12. doi: 10.1177/21514593211059865
 23. Alrabaa RG, Ma G, Truong NM, et al. Trends in Surgical Treatment of Proximal Humeral Fractures and Analysis of Postoperative Complications Over a Decade in 384,158 Patients. *JBJS Open Access.* 2022;7(4). doi: 10.2106/JBJS.OA.22.00008